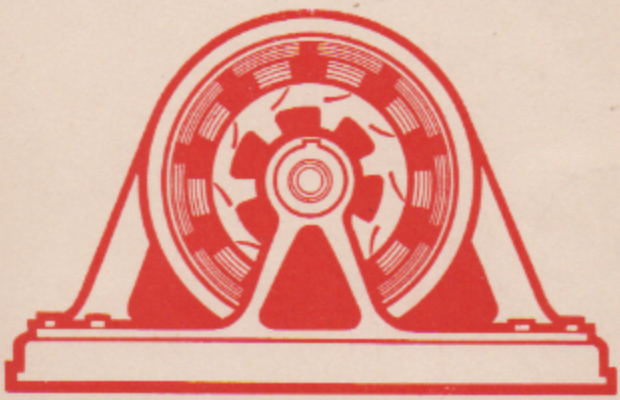
PROTON

NOCIONES DE FISICA Y QUIMICA

3er CURSO

TEIDE



José R. Soriano Silvestre

COLECCION DE FISICA Y QUIMICA

PROTÓN

ELEMENTOS DE FÍSICA Y QUÍMICA

POR

JOSÉ R. SORIANO SILVESTRE
Catedrático de Enseñanza Media

SEGUNDA EDICION

EDITORIAL TEIDE * BARCELONA

Dibujante: Ramiro de la Torre

Primera edición: 1954
Segunda edición: 1955

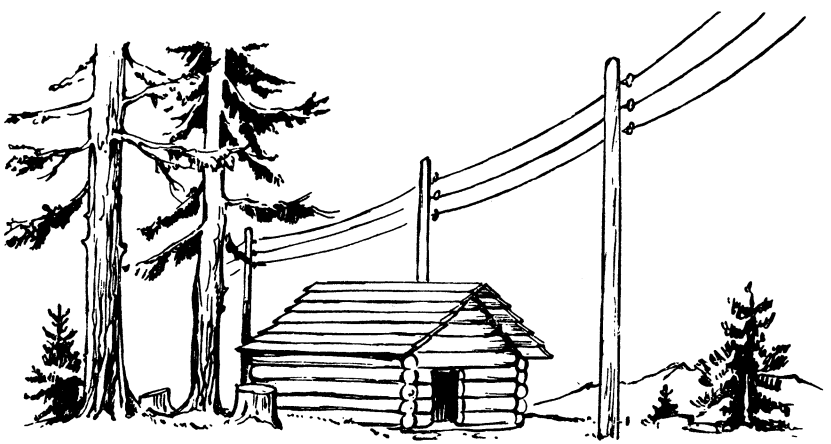
ES PROPIEDAD

Editado en 1955 por EDITORIAL TEIDE - Regás, 16 - BARCELONA
IMPRENTA ECUMENE, S. A. - Pasaje de la Banca, 5 - BARCELONA

1. La materia y sus estados físicos

Concepto de materia y cuerpo. — El concepto de materia se tiene de un modo intuitivo, y aunque por esta razón no sería necesario definirlo, podemos decir que *materia es todo aquello que impresiona nuestros sentidos.*

Se llama cuerpo a toda porción limitada de materia.



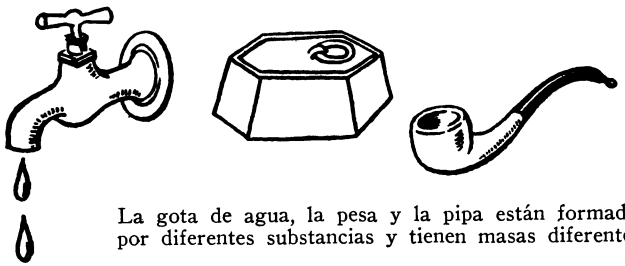
La madera es una materia. El poste de teléfono es un cuerpo.

Así decimos que la madera, el agua y el hierro son materias, mientras que un poste, una gota de agua y un clavo son cuerpos.

Noción de substancia y masa. — Si examinamos una mesa, un bastón y una puerta, prescindiendo de formas y tamaños, reconoceremos que son cuerpos que están formados por una misma materia. Por el contrario, observando un clavo y una gota de agua, llegaremos a la conclusión de que están formados por materias diferentes.

Se denomina substancia cada una de las clases de materia.

Cuando hablamos de substancias queremos decir, por consiguiente, diferentes clases de materia.



La gota de agua, la pesa y la pipa están formadas por diferentes substancias y tienen masas diferentes.

Si dos vasos, uno grande y otro pequeño, están llenos de agua, entendemos que el vaso grande tiene mayor cantidad de substancia que el pequeño. Si en un tercer vaso reunimos el agua de los dos anteriores, decimos que éste contiene una cantidad de substancia igual a la suma de los dos primeros.

Dos cuerpos tienen igual masa cuando se reconoce en ellos igual cantidad de materia, y tienen masas diferentes cuando se reconoce en ellos diferente cantidad de materia.

Se denomina masa de un cuerpo a la cantidad de materia que contiene.

Cuando se habla, por tanto, de masa de los cuerpos, se quiere indicar la cantidad de materia que ellos contienen.

La Física y la Química estudian la materia bajo aspectos diferentes. La Física sólo se interesa por la masa de los cuerpos, independientemente de su clase, mientras que el estudio de las diferentes clases de materias o substancias constituye el objeto de la Química.

Propiedades generales y particulares de la materia.— Los cuerpos nos impresionan de muy diferentes maneras. Así, por ejemplo, el pedernal es duro; la goma es blanda; el cobre conduce la electricidad; el vidrio es transparente; un trozo de cuarzo tiene forma propia, etc.

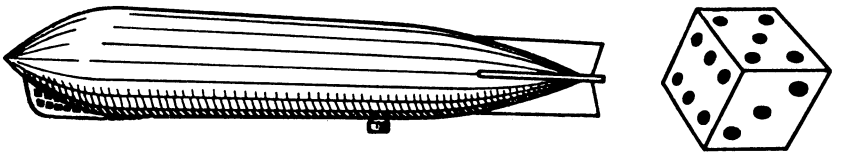
Reciben el nombre de propiedades las diferentes formas en que los cuerpos impresionan nuestros sentidos.

Las propiedades de los cuerpos pueden ser particulares y generales.

Se llaman propiedades particulares o específicas aquellas que sólo son propias de algunos cuerpos o materias. Se llaman propiedades generales las que, por el contrario, corresponden a toda clase de materias o de cuerpos.

Las propiedades particulares o específicas son las que permiten distinguir unas substancias de otras y sirven para caracterizarlas. Su estudio es de gran importancia en Química. Así, el color azul del sulfato de cobre y la solubilidad del azufre en sulfuro de carbono, son propiedades que distinguen a estos cuerpos de otros, y son ejemplos de propiedades particulares de la materia.

Las propiedades generales de la materia constituyen el objeto de la Física, siendo las más salientes la *extensión,* la *impenetrabilidad,* la *inercia* y la *gravedad,* de las que vamos a dar a continuación algunas nociones.

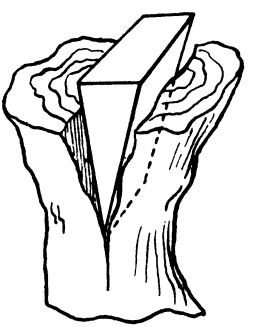


Todos los cuerpos ocupan un lugar en el espacio.

Extensión. — Esta propiedad consiste en que *toda porción de materia o cuerpo ocupa siempre un lugar en el espacio.* No se puede concebir un cuerpo que no ocupe una porción de espacio.

Se llama volumen de un cuerpo la porción de espacio ocupado por el mismo.

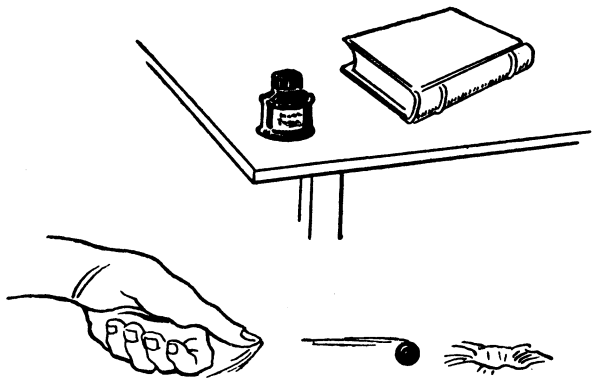
Impenetrabilidad. — La impenetrabilidad consiste en que *el espacio ocupado por un cuerpo no puede ser ocupado al mismo tiempo por otro.*



Impenetrabilidad. La cuña no puede ocupar el mismo espacio que la madera del tronco.

En efecto: sabemos que si metemos la mano en una vasija llena de agua hasta el borde, ésta rebosa y se derrama. Esta experiencia, que no necesita mayor explicación, demuestra que dos cuerpos no pueden ocupar simultáneamente un mismo espacio.

Puede parecer, sin embargo, que esta propiedad deja de cumplirse en algún caso, como, por ejemplo, cuando se clava un clavo en una madera. A primera vista parece, en efecto, que el clavo y una porción de madera ocupan a la vez un mismo espacio. En realidad no sucede así, sino que al penetrar el clavo va apartando las fibras de madera y deja libre un espacio que es el que viene a ocupar el clavo.



Inercia

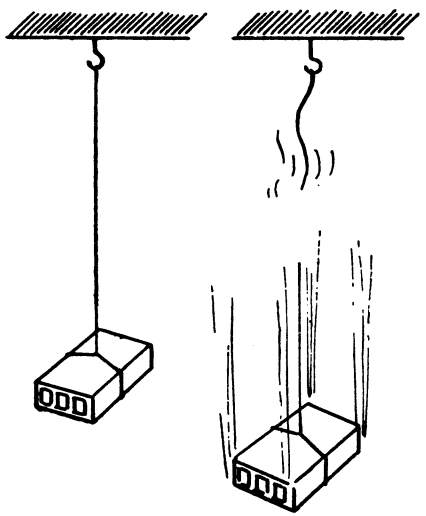
1. El libro y el tintero permanecen en reposo mientras no se les traslade.

2. La bolita seguirá rodando si no halla obstáculos en su camino.

Inercia. — La inercia es otra propiedad general de los cuerpos, por la cual *éstos tienden a conservar su estado de reposo o de movimiento mientras una causa exterior (fuerza) no les obligue a cambiar,* o lo que es lo mismo, *un cuerpo no puede pasar por sí mismo del estado de reposo al de movimiento y viceversa.*

En efecto: un libro o un tintero, colocados sobre la mesa, continuarán en reposo sobre ella mientras no haya una causa exterior (fuerza) que les saque de este estado.

Por otra parte, si impulsamos una esfera sobre una superficie horizontal, rodará por ella, deteniéndose después de recorrer cierto espacio. Puede comprobarse, sin embargo, que la esfera tardará en detenerse tanto más cuanto mejor pulimentada y más horizontal esté la superficie. Esto permite suponer que si se consiguiera eliminar por completo el rozamiento entre la superficie y la esfera, el desplazamiento de ésta sería ilimitado; es decir, que la esfera no se detendría nunca, y continuaría en su movimiento uniforme y rectilíneo a menos que una causa exterior lo impidiese.



Gravedad: Todos los cuerpos tienden a caer hacia el suelo.

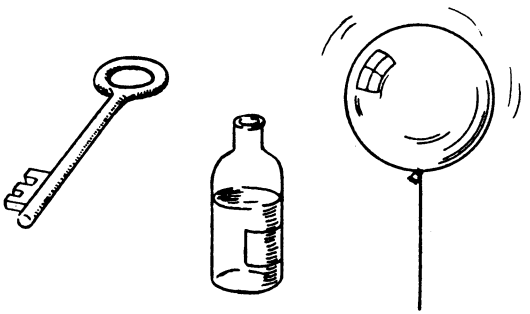
Las estrellas fugaces que observamos en las noches despejadas de verano, son masas desprendidas de los astros que caminan sin detenerse por los espacios interplanetarios, siguiendo trayectorias rectilíneas, salvo cuando la atracción de algún cuerpo celeste las obliga a cambiar de dirección.

Gravedad. — Esta propiedad, común a todos los cuerpos o materias colocados sobre la superficie de la tierra, *consiste en ser atraídos por ella,* o lo que es lo mismo, *en poseer un peso determinado.*

Si suspendemos una piedra mediante un hilo, éste queda tenso. Si cortamos el hilo sin tocar la piedra, ésta cae, siguiendo una dirección fija en cada lugar, llamada *vertical;* esto prueba que existe una causa que la obliga a caer hacia la tierra. Esta causa se llama *fuerza de gravedad,* y su valor para cada cuerpo recibe el nombre de *peso* del mismo.

Todos los cuerpos están sometidos a la acción de esta fuerza. Las excepciones que pudieran observarse son solamente aparentes. Así, cuando un globo se eleva en el espacio, no es que no esté sujeto a la acción de la gravedad, sino que sobre él actúa otra fuerza mayor en sentido contrario que le obliga a ascender, venciendo su peso.

Estados de la materia y propiedades de la misma en cada uno de ellos. — La primera división de la materia que hacen los físicos, se basa en ciertas propiedades de la misma que tienen valores muy diferentes de unos cuerpos a otros.



La llave es un cuerpo sólido. El contenido de la botella es un líquido. La substancia que contiene el globo es un cuerpo gaseoso.

Todos los cuerpos cambian de forma y de volumen bajo la acción de fuerzas adecuadas. Pero la facilidad con que lo hacen varía radicalmente de unos a otros.

Unos, como el hierro, la madera y el marfil, conservan su forma y su volumen aunque se trasladen o se cambien de posición. No se deforman apreciablemente cuando los tocamos, y ofrecen resistencia a ser divididos. Estos cuerpos reciben el nombre de *sólidos.*

Hay otros cuerpos, como el agua, el mercurio y el alcohol, que se deforman con tanta facilidad, que no pueden tenerse aislados, sino que han de conservarse dentro de recipientes; adoptan entonces la forma de éstos, salvo en la superficie libre, que es siempre plana y horizontal. Tienen, no obstante, volumen propio, y ofrecen escasa resistencia a ser divididos. A estos cuerpos se les da el nombre de *líquidos.*

Existen, por último, otros cuerpos, como el aire, el hidrógeno y el óxido de carbono, que, al igual que los líquidos, no tienen forma propia, sino que adoptan la de la vasija que los contiene; pero se diferencian de los líquidos por una nueva propiedad, llamada *expansibilidad,* por la cual tienden a ocupar la totalidad de la vasija en que se encuentran contenidos, por grande que sea. Estos cuerpos reciben el nombre de *gases.*

La expansibilidad de los gases puede ponerse de manifiesto dejando abierta una llave de salida del gas del alumbrado. Al cabo de pocos minutos se notará su olor en todos los puntos de la habitación, lo que demuestra que aquel gas se ha extendido por toda ella.

Así pues, fundándonos en las diferencias expuestas, podemos definir tres estados de la materia, llamados *estados físicos,* caracterizados por las siguientes propiedades:

Estado sólido: Cuando los cuerpos tienen *volumen fijo y forma propia.*

Estado líquido: Cuando los cuerpos poseen *volumen fijo y forma variable, adoptando la de la vasija que los contiene, salvo en la superficie libre, que es plana y horizontal.*

Estado gaseoso: Cuando los cuerpos *no tienen forma ni volumen propios, adoptando los de las vasijas que los contienen y ocupando todo su volumen.*

Los cuerpos líquidos y gaseosos, a causa de la movilidad de sus partes y de la propiedad que poseen de fluir a través de los orificios, reciben el nombre de *fluidos.* Los gases se llaman también *fluidos expansibles* debido a la propiedad ya indicada de tender a ocupar espacios siempre mayores que aquellos en que se encierran.

Ejercicios

Decir la diferencia que existe entre materia y cuerpo y entre substancia y masa, citando algunos ejemplos.

Decir la diferencia que existe entre las propiedades generales y particulares de la materia. Poner ejemplos de unas y otras.

¿Puede existir un cuerpo que no ocupe ningún volumen? ¿Qué propiedad general de la materia se opone a ello?

Poner agua en una probeta graduada hasta cierta altura e introducir en ella un cuerpo cualquiera. Comprobar que el nivel de agua asciende y decir a qué propiedad general de la materia se debe este hecho.

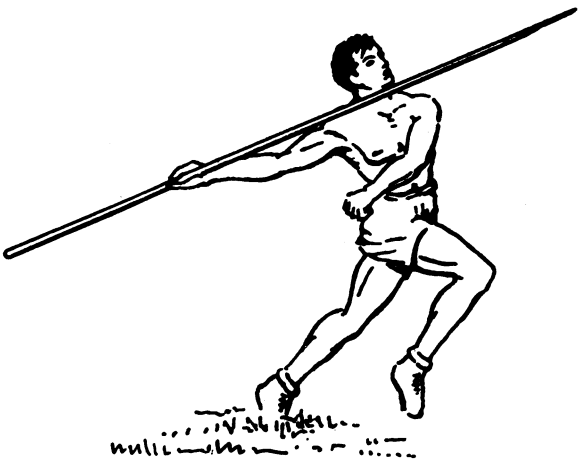
¿Por qué la estrellas fugaces caminan indefinidamente por los espacios interplanetarios mientras no chocan con algún astro?

Mencionar los estados físicos de la materia poniendo ejemplos de cada uno de ellos y citar las propiedades correspondientes a cada uno.

2. Fenómenos. Constitución de la materia

Fenómenos: sus clases. — Podemos observar con frecuencia en los cuerpos cambios o modificaciones, que unas veces son transitorias y pasajeras y otras son permanentes. Unas veces no hacen cambiar la naturaleza de los cuerpos, mientras otras suponen cambios profundos de sus propiedades.

Se llama fenómeno a todo cambio que sufre un cuerpo en su manera de ser o estar.



El desplazamiento de la jabalina es un fenómeno físico.

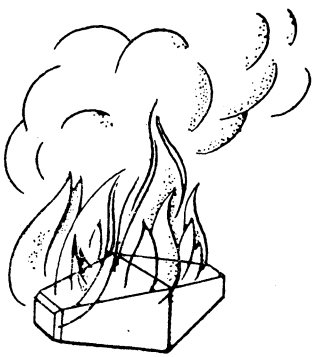
Reciben el nombre de fenómenos físicos cuando no se altera la naturaleza íntima de los cuerpos, permaneciendo inalteradas sus propiedades particulares o específicas.

Reciben el nombre de fenómenos químicos o reacciones químicas cuando se modifica la naturaleza íntima de los cuerpos, cuya substancia queda transformada en otra de propiedades específicas diferentes.

Así, cada vez que el sol ilumina un objeto produce un fenómeno físico, ya que no se modifica por ello la naturaleza del cuerpo que se ilumina.

La caída de un cuerpo es otro fenómeno físico, puesto que tampoco por este hecho cambian sus propiedades.

En cambio, cuando arde en el aire un trozo de azufre, se produce un gas sofocante. El azufre desaparece convirtiéndose en este gas, de propiedades completamente diferentes. La combustión del azufre es un fenómeno químico.



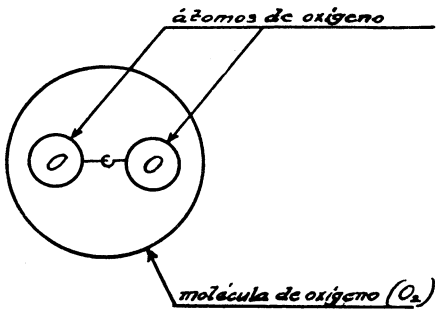
La combustión del azufre es un fenómeno químico.

La ciencia que se ocupa de los fenómenos físicos se llama *Física.* Recibe el nombre de *Química* la ciencia que tiene por objeto el estudio de los fenómenos químicos.

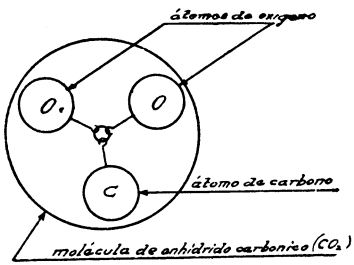
Constitución de la materia: moléculas y átomos. — Desde los más remotos tiempos ha pretendido el hombre conocer la naturaleza íntima de la materia. Desde un principio se supuso a la materia de naturaleza discontinua y se la consideró constituida por pequeñísimas partículas indivisibles o átomos.

Realmente *la materia está constituida por partículas muy pequeñas llamadas átomos,* palabra que significa indivisible, pues en un principio se creyó que los átomos no podían dividirse en partes más pequeñas.

El átomo es la menor porción de materia que puede pasar de un cuerpo a otro en una reacción química.



Oxígeno



Anhídrido carbónico

Los átomos constituyen moléculas. Las moléculas de los cuerpos simples están formadas por átomos de la misma clase. Las de los cuerpos compuestos están formadas por átomos de clase diferente.

Los átomos se reúnen para formar agrupaciones llamadas *moléculas.* La molécula es la *porción de materia más pequeña que puede obtenerse por medios físicos, conservando íntegras las propiedades específicas de aquélla.*

Cuando se disuelve azúcar en agua, se divide en partes pequeñísimas que no podríamos ver ni con ayuda de los más potentes microscopios, las cuales quedan repartidas en el seno del agua. El medio utilizado es un medio físico, y las partes en que se ha dividido el azúcar, moléculas, aún tienen todas las

propiedades del azúcar. Si las dividiésemos en partes más pequeñas, éstas ya no gozarían de las propiedades de esta substancia.

Todas las moléculas de una substancia son iguales entre sí. Las moléculas de substancias distintas son diferentes.

Afinidad y cohesión. — Para que los átomos se reúnan al objeto de formar las moléculas, es necesario que existan entre ellos fuerzas de atracción. Tales fuerzas, de naturaleza diferente, se denominan *fuerzas de afinidad.*

La afinidad es la fuerza que mantiene unidos los átomos en las moléculas.

Las moléculas también se encuentran unidas por fuerzas de atracción llamadas *fuerzas de cohesión.*

La cohesión es la fuerza que mantiene unidas las moléculas en los cuerpos.

En los fenómenos físicos no se alteran las moléculas, sino a lo sumo su manera de estar o de agruparse. En cambio, en los fenómenos químicos se llega a vencer la fuerza de afinidad que mantiene unidos los átomos, y éstos se agrupan de manera diferente, dando lugar a moléculas distintas; es decir a cuerpos diferentes.

Cuerpos simples y compuestos. — *Reciben el nombre de cuerpos compuestos aquellos que pueden descomponerse en otros más simples.*

Los que, por el contrario, no pueden resolverse en cuerpos más sencillos se llaman *cuerpos simples* o *elementos.*

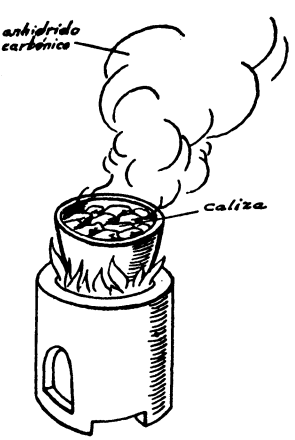
Si ponemos unos trozos de caliza en un crisol y la sometemos a la temperatura del rojo durante algún tiempo, podemos comprobar que se transforma en otro cuerpo de propiedades diferentes, llamado cal viva, y al mismo tiempo se desprende un gas, que recibe el nombre de anhídrido carbónico.

También la cal viva y el anhídrido carbónico pueden descomponerse en cuerpos más sencillos y ambos se obtienen por la unión del oxígeno con el calcio y el carbono respectivamente.

En cambio, ni el oxígeno, ni el carbono, ni el calcio han podido descomponerse en otros cuerpos más sencillos ni pueden formarse por la unión de otros.

La caliza, la cal viva y el anhídrido carbónico son cuerpos compuestos. El oxígeno y el calcio son cuerpos simples.

Las moléculas de los cuerpos simples están formadas por átomos todos iguales, mientras que las de los cuerpos compuestos están constituídas por átomos de diferente especie.



La caliza es un cuerpo compuesto, porque puede descomponerse en otros más sencillos.

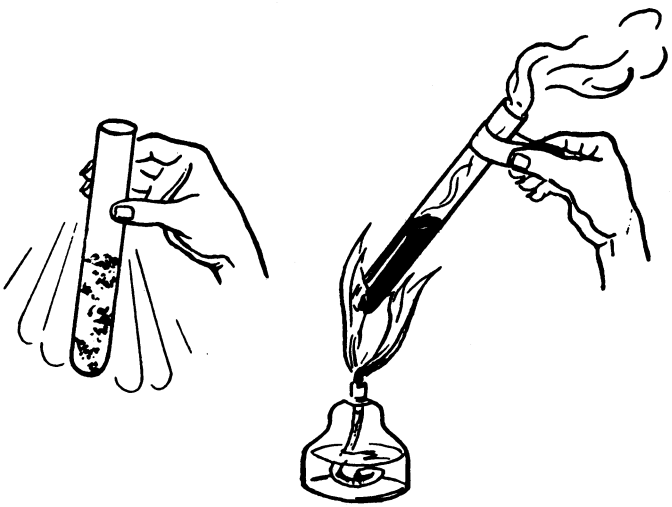
Símbolos y fórmulas. — Para facilitar la escritura, se ha convenido en representar los distintos elementos mediante *símbolos*. Estos símbolos suelen ser la primera o las dos primeras letras de su nombre latino. Cuando dos elementos tienen la misma inicial, se representan por esa inicial y otra letra elegida de forma que no pueda haber confusión. Así, por ejemplo: el símbolo del hidrógeno es H, el del oxígeno es O, el del carbono C, el del calcio Ca.

Las moléculas se representan mediante *fórmulas*. Éstas se forman con los símbolos de los elementos que entran en su composición, con un subíndice que indica el número de átomos que entran en la molécula; *en el caso de que sea un solo átomo no se pone subíndice alguno.*

Así, por ejemplo, la fórmula del agua, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, es H_2O. La del anhídrido carbónico, cuyas moléculas se forman con dos átomos de oxígeno y uno de carbono, es CO_2.

Mezcla y combinación. — Cuando dos o más substancias se reúnen pueden dar lugar a una *mezcla* o a una *combinación*.

Tomemos un tubo de ensayo y pongamos en él unas limaduras de hierro y un poco de flor de azufre, agitando bien el tubo hasta conseguir que ambas substancias se repartan homogéneamente. La mezcla tendrá un color grisáceo intermedio entre el amarillo del azufre y el gris del hierro. Sin embargo, la homogeneidad es sólo aparente, pues con una lupa podremos distinguir las partículas de hierro de las de azufre. Además, utilizando procedimientos exclusivamente físicos, podremos separar uno de otro, por ejemplo: con un imán que atraiga al hierro, o con un disolvente (sulfuro de carbono) que disuelva el azufre.



Las limaduras de hierro y el azufre se *mezclan* en frío.
Al calentarlas dan lugar a una *combinación*.

Por el contrario, si la mezcla de limaduras de hierro y azufre se calienta en la llama de un mechero, llega un momento en que la masa se inflama; se forma entonces un cuerpo de color negruzco, llamado sulfuro de hierro, en el cual no es posible distinguir el hierro del azufre, ni será posible separarlos usando algún procedimiento físico. Además, mientras en el primer caso la mezcla se podía formar con cantidades cualesquiera de uno y otro componente, en el segundo caso, cuando se forma el nuevo compuesto, lo hace con cantidades fijas y determinadas de cada uno de ellos.

En el primer caso habíamos formado una mezcla.

En el segundo caso hemos dado lugar a una combinación.

Las propiedades características de la mezcla y de la combinación son, pues, las siguientes:

En las mezclas, los componentes entran en proporciones arbitrarias, resultan homogéneas sólo en apariencia, y sus componentes pueden separarse por medios físicos, conservando cada uno de ellos sus propiedades características.

En las combinaciones, los componentes entran en proporciones fijas y determinadas, poseen una homogeneidad absoluta y sus componentes no pueden separarse por medios físicos, perdiendo cada uno de ellos sus propiedades, puesto que resulta otro u otros cuerpos, de propiedades diferentes.

Ejercicios

Señalar las diferencias que existen entre los fenómenos físicos y químicos y clasificar en cada uno de los grupos los siguientes fenómenos: caída de un cuerpo, iluminación de un objeto, combustión de la madera, solidificación del agua, fermentación del mosto.

¿Cómo se llaman las partes más pequeñas de materia que pueden pasar de un cuerpo a otro en una reacción química?

¿Cómo se llaman las partes más pequeñas de materia que pueden obtenerse por medios físicos?

¿Cómo se llaman las fuerzas que tienen unidos a los átomos en las moléculas y cómo las que tienen unidas las moléculas en los cuerpos?

¿Qué diferencia existe entre los cuerpos simples y compuestos? Citar ejemplos de unos y otros expresando la razón por la que pertenecen a uno u otro grupo.

¿Cómo se representan los cuerpos simples o elementos? ¿Cómo se representan los cuerpos compuestos?

¿A qué elementos pertenecen los símbolos siguientes: H, Na, Cu, Ag, Au, Ca, Zn, Hg, C, Pb, N, O, S, Cl, Fe, Ni, He, Ar?

¿Qué símbolos corresponden a los siguientes elementos: hidrógeno, sodio, cobre, plata, oro, calcio, cinc, mercurio, carbono, plomo, nitrógeno, oxígeno, azufre, cloro, hierro, níquel, helio, argón?

¿Cuántos átomos y de qué clase entran en las moléculas de los siguientes cuerpos: agua, H_2O; óxido de hierro, FeO; óxido de sodio, Na_2O; óxido de cobre, CuO; cloruro de hierro, Cl_2Fe; cloruro de sodio, ClNa; ácido clorhídrico, ClH; ácido sulfúrico, SO_4H_2; óxido de calcio, CaOCa?

¿Qué diferencias existen entre una mezcla y una combinación? Citar algunos ejemplos de mezclas y combinaciones.

3. Las magnitudes físicas y su medida

Magnitudes físicas. — Recibe el nombre de *magnitud física todo lo que es capaz de aumento o disminución, y puede medirse y sumarse.*

Así, por ejemplo, la longitud, la superficie, el volumen, el peso, etc., son magnitudes físicas.

Medida de las magnitudes físicas. Unidad y valor numérico. — *Medir una magnitud es compararla con otra de su misma especie, elegida arbitrariamente,* a la que se da el nombre de *unidad de medida* o simplemente *unidad.*

La medida de magnitudes es muy importante en Física, pues constantemente es necesario realizarla para la observación de los fenómenos y su estudio, así como para establecer las leyes que los rigen. Algunas veces se ha llamado a la Física la ciencia de las mediciones.

La medida de las magnitudes físicas se hace a veces *directamente.* Así, cuando queremos medir una longitud, lo hacemos llevando la unidad elegida sobre la longitud a medir tantas veces como sea posible. Si la longitud que medimos no contiene a la unidad un número exacto de veces, dividiremos ésta en partes iguales y sobre la longitud que excede llevaremos una de esas partes, hasta ver cuántas veces la contiene. Si la longitud medida contiene la unidad seis veces y además a la décima parte de la unidad otras cuatro veces, el resultado de la medida será 6,4. Este resultado, que expresa el número de veces que la magnitud contiene a la unidad o a una de sus partes alícuotas se llama *valor numérico* o simplemente *valor de la magnitud.*

Para que el valor numérico de una magnitud no vaya representado por números excesivamente grandes o pequeños, debe elegirse convenientemente la unidad. Así, para medir la distancia de Valencia a Barcelona se emplea el kilómetro, mientras que para medir la altura de la columna barométrica se emplea el centímetro o el milímetro. Conociendo las relaciones entre unas unidades y otras, se deduce fácilmente la variación del valor de una magnitud al cambiar de unidad de medida.

Otras veces, la comparación de la magnitud con la unidad correspondiente se hace de *manera indirecta.* Tal ocurre cuando se quiere medir el volumen de una habitación. Entonces se miden sus tres dimensiones: largo, ancho y alto, y puede demostrarse que su producto es el volumen buscado, medido con una unidad, igual a un cubo cuya arista es la unidad lineal usada. Es decir, si las dimensiones se han medido en metros, el volumen vendrá expresado en metros cúbicos.

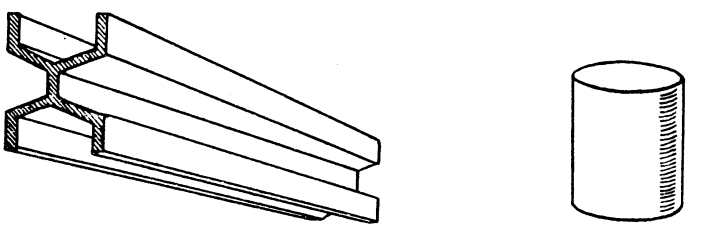
Algunas magnitudes se miden comparando *sus efectos,* con los de la unidad elegida, admitiendo que efectos iguales corresponden a valores iguales de la magnitud que los produce, y que valores doble o mitad corresponden a valores doble o mitad de la magnitud causante.

Así sucede cuando medimos el peso de un cuerpo por la deformación que produce sobre un muelle perfectamente elástico, en los aparatos llamados dinamómetros, como veremos más adelante.

Sistema métrico de unidades.— Primitivamente, las unidades empleadas para la medida de magnitudes se elegían arbitrariamente y no guardaban relación alguna entre sí. Además, tampoco se usaban iguales medidas en los diferentes países y a veces ni en las distintas regiones de una misma nación.

Todo ello era causa de numerosas dificultades, siendo éste el motivo que hizo que se reuniesen hombres de ciencia de todo el mundo y acordasen unificar las unidades que deberían usarse en el mundo entero. Así nació el *Sistema Métrico Decimal,* que *tiene como unidad fundamental el metro.*

Se define como *metro patrón la distancia entre dos trazos de una regla de platino que se conserva en París, cuando su temperatura es de cero gra-*



El metro es la distancia que hay entre dos trazos de una regla de platino, que se conserva en París. El kilo, es el peso, en París, de un cilindro de platino, que también se conserva en aquella capital.

dos centígrados. Esta distancia es aproximadamente *la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre.*

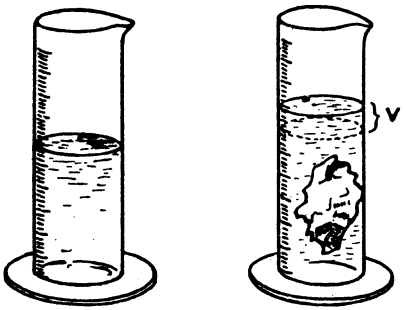
Todas las demás unidades están relacionadas directa o indirectamente con el metro. Así, la unidad de superficie es el *metro cuadrado,* la unidad de volumen el *metro cúbico,* la unidad de fuerza o peso es el *kilo.* El kilo es el peso de un cilindro de platino que se conserva en París, y que es aproximadamente el de un decímetro cúbico de agua a la temperatura de cuatro grados centígrados.

Medida de longitudes, superficies y volúmenes. — Ya hemos dicho anteriormente que *la medida de longitudes se hace llevando la unidad sobre la longitud a medir. La unidad empleada es el metro* o bien sus múltiplos y divisores.

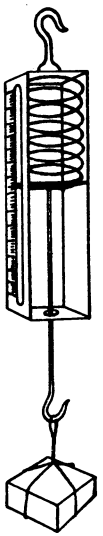
En la medida de longitudes se emplean reglas graduadas, cintas métricas, etc.

La medida de superficies *suele hacerse indirectamente midiendo las dimensiones lineales, y calculando luego con operaciones aritméticas sencillas el valor de la superficie buscada.*

La unidad empleada es el *metro cuadrado* o bien sus múltiplos o divisores.



La diferencia entre el volumen alcanzado por el agua de la probeta, antes y después de introducido el cuerpo, nos indica el volumen (V) de éste.



En el *dinamómetro,* el índice señala directamente sobre la escala el peso del cuerpo.

La medida de volúmenes se hace también indirectamente de manera análoga. Por ejemplo, para medir el volumen de un prisma rectangular, se miden sus tres dimensiones lineales, y el producto de ellas es el volumen del prisma.

Cuando se trata de cuerpos irregulares, si son de pequeño tamaño, se puede usar el siguiente procedimiento: se pone agua en una probeta graduada, hasta una de sus divisiones. Se introduce el cuerpo cuyo volumen queremos medir dentro del agua, y se ve el nivel que alcanza ahora el agua. El volumen buscado será la diferencia entre el volumen alcanzado por el agua después de introducir el cuerpo y antes de hacerlo, medidos ambos en la probeta.

El volumen de los líquidos se mide con vasijas de cabida conocida, con probetas, con buretas, etc. La unidad empleada es el *metro cúbico* o más corrientemente sus divisores, el dm.^{3} o *litro* y el cm.^{3}

Medida de pesos. — *El peso de los cuerpos es la fuerza con que la tierra los atrae.* El peso de los cuerpos se determina mediante los aparatos llamados

dinamómetros, que se fundan en la deformación de un muelle perfectamente elástico por la acción de las fuerzas.

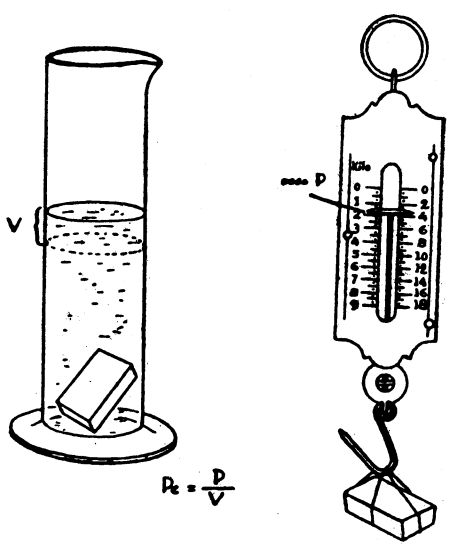
Supongamos un muelle construido con un hilo de acero arrollado en espiral, fijo por un extremo, y que lleva en el otro un índice que se desplaza frente a una regla graduada. En este mismo extremo lleva un gancho donde pueden colgarse los pesos que queremos medir.

Si de este gancho suspendemos un cuerpo, y el muelle se estira, desplazándose el índice sobre la regla 10 mm., siempre que otro cuerpo produzca igual desplazamiento diremos que tiene igual peso. Si un cuerpo produce un desplazamiento del índice doble o triple, su peso es también doble o triple.

Pues bien, si del gancho del muelle colgamos sucesivamente una, dos, tres, etc., unidades de peso, y sobre la regla señalamos los puntos alcanzados por el índice, habremos construido un aparato capaz de darnos a conocer el peso de un cuerpo cualquiera que se suspenda de él. Este aparato es un *dinamómetro*. Para usar el dinamómetro basta con suspender de su gancho el cuerpo cuyo peso se desea conocer, mientras el aparato se mantiene sujeto por su anilla. El índice nos señala directamente sobre la escala el peso que buscamos.

La unidad empleada para la medida de pesos es el kilo, que se define como el peso en París de un cilindro de platino iridiado que se conserva allí, y que es aproximadamente igual al de un decímetro cúbico de agua pura a la temperatura de 4° centígrados.

También se usan los múltiplos y divisores del kilo especialmente el gramo, que es la milésima parte del kilo.



El peso específico de un cuerpo se halla dividiendo su peso, en gramos (con un dinamómetro, derecha), por su volumen en centímetros cúbicos (obtenido como se muestra en la figura de la izquierda).

Peso específico.— Los cuerpos de distinta naturaleza tienen, en general, *a igualdad de volumen, diferente peso.* Así, por ejemplo, un litro de mercurio pesa más que un litro de agua, y éste más que un litro de alcohol. Esto se expresa diciendo que el mercurio es más pesado que el agua y ésta más que el alcohol.

Se llama peso específico de un cuerpo al peso de su unidad de volumen; es decir, que si el peso de un cuerpo es P y su volumen es V, hallaremos su peso específico dividiendo su peso por su volumen, o sea:

$$p = \frac{P}{V}, \qquad \text{de donde} \qquad P = p \cdot V$$

es decir que *el peso de un cuerpo es igual a su peso específico por su volumen.*

Se debe usar como unidad de peso el kilo y como unidad de volumen el litro, o bien el gramo y el centímetro cúbico como unidad de peso y volumen respectivamente.

Así, por ejemplo, si un trozo de hierro tiene un volumen de o'764 litros y pesa 6 kg., su peso específico será:

$$p = \frac{6 \text{ kg}}{0'764 \text{ lit}} = 7{,}88$$

Ejercicios

Citar ejemplos de magnitudes físicas.

Medir mediante una regla graduada la longitud de algunos cuerpos, como un libro o un lápiz. Medir con un metro la longitud de una habitación.

Medir la superficie de una cuartilla de papel, midiendo con una regla su longitud y anchura en centímetros, multiplicando ambos valores para obtener la superficie pedida.

Medir de la misma manera las superficies de otros objetos, como un ladrillo y una mesa. Medir la superficie de una habitación midiendo sus dimensiones con un metro.

Medir el volumen de un líquido empleando una probeta graduada.

Medir el volumen de un cuerpo metálico pequeño, introduciéndolo en una probeta graduada conteniendo agua, observando el volumen de ésta antes y después de introducir el objeto.

Medir varios pesos mediante el dinamómetro. Compruébese que su muelle de acero se alarga bajo la acción de los pesos y que este alargamiento es proporcional a la fuerza que actúa sobre él.

Determinar el peso específico de diferentes esferas de varias substancias, hallando su peso y dividiendo éste por su volumen. Éste se hallará midiendo su diámetro. El peso debe expresarse en gramos y el volumen en centímetros cúbicos, o el peso en kilos y el volumen en litros.

4. Calor: Dilataciones

Noción de calor. Manantiales de calor. — La noción de calor la poseemos intuitivamente por nuestro sentido térmico. Todos conocemos la sensación de calor que recibimos al acercarnos a una estufa encendida o simplemente al exponernos al sol. Si se quisiera, no obstante, definirlo, podría decirse que *el calor es una forma de energía que se origina en los cuerpos, y que pasa de los calientes a los fríos cuando se ponen en contacto.*

La palabra *calor* tiene para nosotros un doble significado, ya que con ella se designa no sólo una sensación fisiológica, sino la causa física de aquella sensación.

El manantial de calor más importante es el sol. El sol lanza continuamente al espacio enormes cantidades de calor, de las cuales tan sólo una pequeña parte recoge la tierra. Esta parte, aun siendo pequeñísima en relación con la totalidad emitida por el sol, es suficiente para mantener y hacer posible la vida en la tierra, pues de ella toman todos los seres vivos, vegetales y animales, la energía necesaria para subsistir. Si llegase a enfriarse el sol, desaparecería de la superficie de la tierra todo rastro de vida.

Aparte de esta fuente natural de calor, el hombre dispone de otras, entre las cuales es la más común la *combustión.*

La combustión del carbón, madera, gasolina y otros cuerpos proporciona calor, que se emplea para numerosos fines.

Existen también otras fuentes de calor, como la *electricidad,* que produce calor en los hornillos eléctricos; el *rozamiento,* que es la causa del calor producido cuando nos frotamos las manos, y otras.

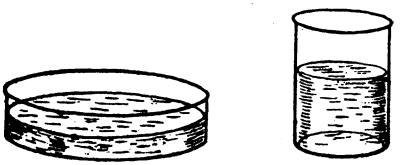
Efectos generales del calor sobre los cuerpos. — El calor es una forma de energía que puede comunicarse a los cuerpos. En éstos se manifiesta por determinados fenómenos, entre otros por *la elevación de temperatura, la dilatación o aumento de volumen, el cambio de estado,* etc.

Noción de temperatura. Diferencia entre calor y temperatura. — La noción de *temperatura* la poseemos también de manera intuitiva, gracias a nuestro sentido térmico. Todos podemos decir, cuando tocamos un cuerpo, si está frío o caliente; es decir, si su temperatura es más o menos elevada.

Si colocamos dentro de una llama un trozo de cobre, sujetándolo con unas pinzas, observaremos, al retirarlo, que se ha calentado; es decir, que se ha elevado su temperatura.

Esta experiencia pone de manifiesto que el calor es algo que realmente pasa de los cuerpos calientes a los fríos y que produce en ellos, entre otros efectos, el de elevar su temperatura.

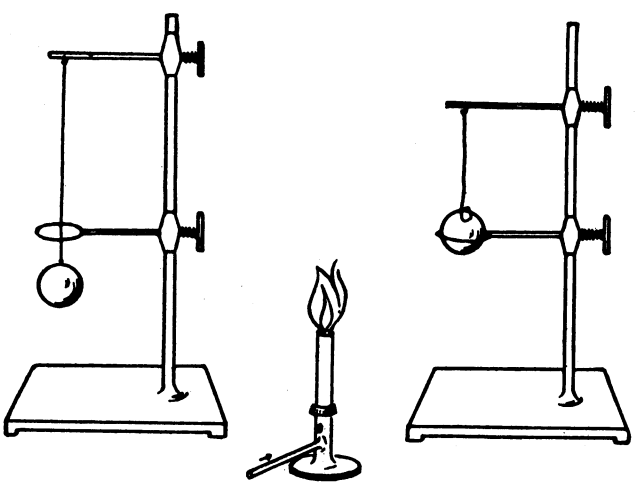
Debe distinguirse, por tanto, claramente entre calor y temperatura. *El calor* es precisamente el que *produce la elevación de temperatura en los cuerpos. El calor es la causa, la elevación de temperatura es el efecto.*



Una misma cantidad de agua alcanza diferente nivel según la capacidad de la vasija en que está contenida.

Entre el calor y la temperatura existe la misma relación que entre el agua y el nivel que ésta alcanza en la vasija que la contiene. Pongamos una misma cantidad de agua en dos vasijas, una estrecha y otra ancha. Observaremos que en la primera de ellas alcanza un nivel más alto que en la segunda. Por otra parte, comuniquemos una misma cantidad de calor, por ejemplo la que produce una cerilla hasta consumirse, a dos cuerpos distintos, como son una esferita de cobre y un litro de agua. Observaremos que mientras la esferita de cobre se calienta mucho, la masa de agua apenas eleva su temperatura.

Esta experiencia demuestra que, así como una misma cantidad de agua alcanza distinto nivel en dos vasijas de diferente forma, la misma cantidad de



Cuando la esferita se calienta, se dilata y no puede pasar por el anillo, por el que antes pasaba justamente.

calor produce diferente elevación de temperatura cuando se comunica a dos cuerpos de diferente capacidad calorífica.

La temperatura es el nivel térmico de los cuerpos.

Y de la misma manera que cuando dos vasijas que tienen agua a distinto nivel y se ponen en comunicación mediante un tubo inferior, el agua pasa de la que tiene el nivel más alto a la otra hasta igualarse los niveles, cuando se ponen en contacto dos cuerpos que tienen diferentes temperaturas, el calor pasa del que está a temperatura más elevada al otro hasta igualarse sus temperaturas.

Dilatación de los cuerpos. — Cuando se comunica calor a un cuerpo produce en él otro efecto, conocido por el nombre de *dilatación. La dilatación es el aumento de volumen que experimenta un cuerpo por efecto del calor.*

Dilatación de sólidos. — Tomemos una esferita metálica que pase exactamente a través de un anillo. Si le comunicamos calor mediante una llama, observaremos que, al mismo tiempo que su temperatura, aumenta también su volumen, de forma que no podrá pasar ahora por el anillo por donde antes pasaba justamente. Si dejamos enfriar nuevamente la esferita, ésta recobrará su tamaño primitivo, y podremos hacerla pasar de nuevo a través del anillo.

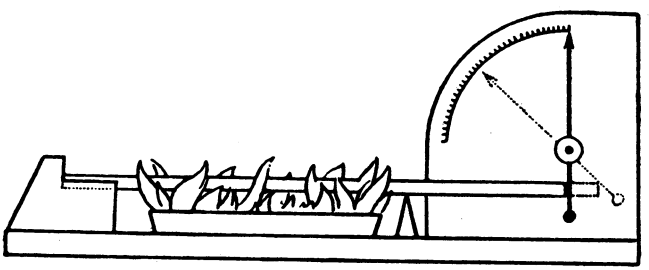
Naturalmente, *la dilatación de un cuerpo por el calor afecta a sus tres dimensiones,* como se comprueba en el experimento anterior; pero a veces sólo interesa considerar el aumento de longitud o el de superficie.

Recibe el nombre de *dilatación lineal cuando sólo tiene en cuenta el aumento de longitud.*

Se llama *dilatación superficial cuando considera el aumento de longitud y anchura,* es decir, *el aumento de superficie.*

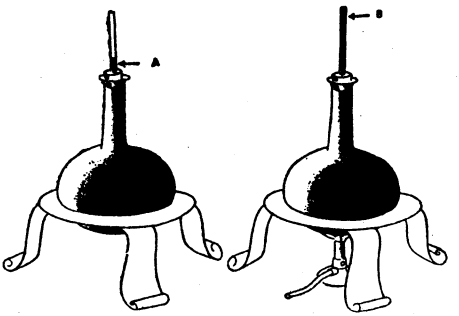
Recibe el nombre de *dilatación de volumen cuando tiene en cuenta el aumento de las tres dimensiones de los cuerpos.*

La dilatación de los cuerpos tiene numerosas aplicaciones, como, por ejemplo, colocar una llanta de hierro en la rueda de un carro. Para ello se empieza



Cuando esta varilla se dilata por el calor, su extremo libre empuja al índice, que se desplaza sobre el limbo graduado.

por construir la llanta de un diámetro ligeramente inferior al de la rueda de madera; luego se calienta, colocándola y dejándola enfriar después, con lo que, al contraerse, queda perfectamente ajustada.



El líquido contenido en el matraz aumenta de volumen cuando se calienta y eleva su temperatura.

Dilatación de los líquidos. — *Los líquidos, como los sólidos, se dilatan por efecto del calor. En ellos sólo cabe estudiar la dilatación de volumen.*

Tomemos un matracito de cuello muy estrecho y largo y llenémoslo de mercurio hasta una señal marcada en el mismo. Si lo calentamos veremos que el nivel del mercurio asciende tanto más cuanto más se calienta.

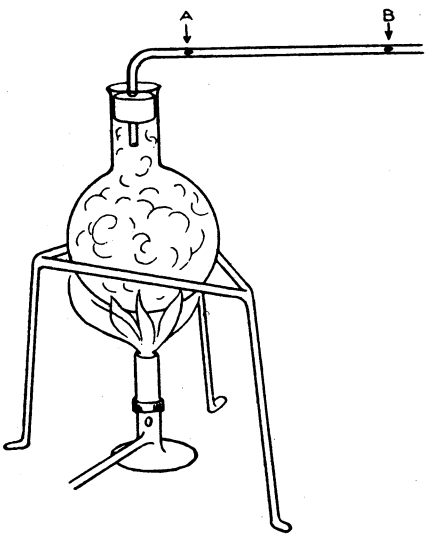
Lo mismo observaríamos si el líquido elegido para la experiencia fuese otro cualquiera. Todos los líquidos se dilatan por efecto del calor, siendo, en general, esta dilatación mayor que en los sólidos.

En la experiencia antes descrita no hemos tenido en cuenta que el matraz que contenía el mercurio se dilata también por efecto del calor aumentando su volumen. Por esta razón, el aumento de volumen experimentado por el mercurio será, en realidad, mayor de lo que nos había parecido. Como los líquidos han de estar siempre contenidos en vasijas, cuando queramos medir la dilatación de un líquido tendremos que tener en cuenta la dilatación de la vasija donde se caliente y sumar a la dilatación aparente, la dilatación de la vasija.

La dilatación real de un líquido es igual a la dilatación aparente del mismo más la dilatación de la vasija.

Dilatación de los gases. — Tomemos un balón de vidrio a cuyo cuello adaptaremos un tapón atravesado por un tubo de vidrio doblado en ángulo recto. Dentro de este tubo coloquemos una gota de agua o de mercurio de forma que deje encerrado en el interior del matraz una cantidad de aire.

Si calentamos ligeramente el matraz, observaremos que la gota colocada en la rama horizontal del tubo se desplaza por él. Esto prueba que el aire



Al calentar el gas contenido en el matraz, se dilata y hace desplazarse a la gotita de mercurio contenida en la rama horizontal del tubo.

encerrado en el matraz aumenta de volumen. Lo mismo ocurriría si en lugar de aire hubiéramos puesto en el matraz cualquier otro gas.

Los gases se dilatan por efecto del calor; su dilatación es mucho mayor que en el caso de los sólidos y los líquidos.

En general, no es necesario tener en cuenta la dilatación de la vasija, pues resulta muy pequeña en relación con la dilatación del gas.

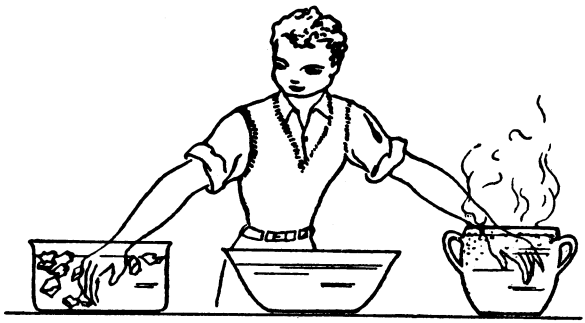
Ejercicios

Citar ejemplos de manantiales de calor, naturales y artificiales.
¿Qué efectos produce el calor sobre los cuerpos? Citar ejemplos.
¿Qué diferencia existe entre calor y temperatura?
¿Cuántas clases de dilatación cabe considerar en los sólidos? ¿Cómo se llama la dilatación de un sólido cuando tiene en cuenta una, dos o las tres dimensiones del mismo?
¿Qué es dilatación real y dilatación aparente de un líquido?
Citar algún ejemplo conocido de dilatación de un líquido.
¿Para qué clase de cuerpos es mayor la dilatación: para los sólidos, para los líquidos o para los gases?
Citar algunas aplicaciones de la dilatación de sólidos y líquidos.

5. Termometría

Termómetros. — Sabemos que nuestro sentido térmico nos permite conocer si un cuerpo está más o menos caliente que otro; es decir, si su temperatura es más o menos elevada.

No obstante, si introducimos una mano en agua fría y otra en agua caliente, y luego ambas manos en agua templada, la mano que estuvo en el agua



Las sensaciones de calor o frío que recibimos dependen de las circunstancias en que se realizó la experiencia.

fría recibe sensación de calor, mientras que la que procede del agua caliente recibe sensación de frío.

Esto demuestra que nuestro sentido térmico no nos permite determinar con exactitud y seguridad la temperatura de los cuerpos, pues esas sensaciones difieren de unos individuos a otros, e incluso para una misma persona dependen de las condiciones en que se efectúa la experiencia.

De cualquier modo, aunque las sensaciones térmicas tuviesen la precisión de que carecen, no sería posible por ellas atribuir a cada temperatura un número de referencia que poder usar físicamente. Por esto es preciso recurrir a medir cierta magnitud de un cuerpo que varíe paralelamente a su temperatura, por cuya variación podamos conocer la variación de aquélla, mientras que su medida nos permita atribuir a cada temperatura un número que, decimos, mide su temperatura.

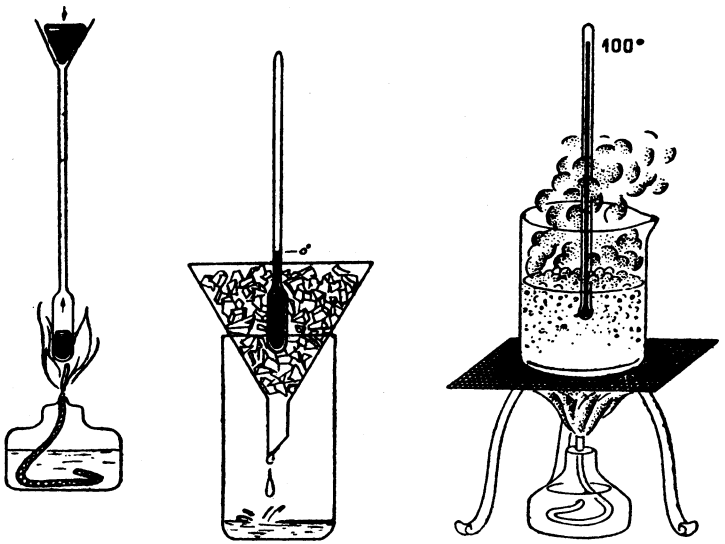
Esa magnitud que varía con la temperatura es el volumen, y el cuerpo corrientemente elegido para medir sus variaciones de volumen por efecto del calor es el mercurio. Este reúne las mejores condiciones por dilatarse mucho y de un modo regular entre temperaturas muy distantes.

Reciben el nombre de *termómetros los aparatos destinados a determinar la temperatura de los cuerpos.*

Termómetro de mercurio. — Consiste en un tubo capilar de vidrio de sección uniforme, terminado por un extremo en un ensanchamiento o depósito, y cerrado por el otro extremo, el cual contiene mercurio, que a temperatura ordinaria ocupa el depósito y parte del tubo capilar.

Cuando el aparato así dispuesto se calienta, el mercurio se dilata y asciende por el capilar, y si se enfría, el mercurio se contrae, descendiendo. De esta manera el volumen del mercurio y su nivel en el tubo capilar del termómetro sigue las variaciones de la temperatura.

Sobre el capilar hay grabada una *escala,* en la que se lee la temperatura indicada por la *columna termométrica.*



Forma de introducir el mercurio en un termómetro y determinación de sus puntos fijos.

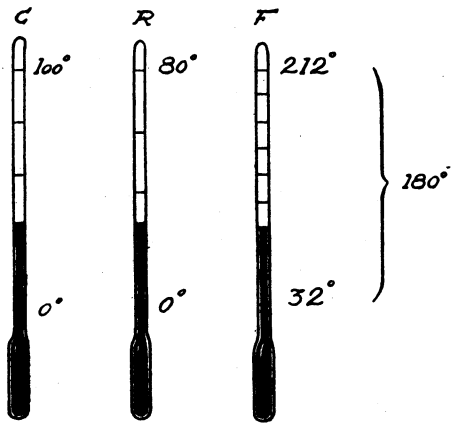
Construcción de un termómetro de mercurio. — Para preparar un termómetro, se toma un tubo capilar terminado por un extremo en un ensancha miento que servirá de depósito, y por el otro en un pequeño ensanchamiento a modo de embudo. Se calienta el depósito, dejándolo luego enfriar con objeto de que al contraerse el aire que contiene, penetre el mercurio que hemos puesto previamente en el embudito de la parte superior. Cuando esto se ha conseguido, se calienta de nuevo hasta hacer hervir el mercurio en el depósito, para que su vapor desaloje completamente el aire del depósito y del capilar. Dejándolo luego enfriar, el mercurio penetrará hasta llenar completamente el depósito, y cuando todavía alcanza una temperatura algo superior a la máxima a que se ha de usar, se corta el capilar por debajo del embudo mediante una lima y se cierra el extremo libre a la lámpara. Cuando el aparato queda a temperatura ordinaria, el mercurio debe ocupar el depósito y una parte del capilar, dejando el resto de éste vacío.

A continuación se procede a la determinación de los puntos fijos.

Reciben el nombre de *puntos fijos dos temperaturas, elegidas arbitrariamente, que sirven de referencia. Éstas son la temperatura de fusión del hielo* (punto de referencia inferior) *y la de ebullición del agua a presión atmosférica normal* (punto de referencia superior).

Para marcar en el termómetro el punto de referencia inferior, se rodea de trocitos de hielo su depósito, colocado dentro de un embudo, y cuando empieza a fundir el hielo y el nivel del mercurio dentro del capilar queda estacionario, se hace una señal a la altura del mismo.

Para determinar el punto de referencia superior se lleva el termómetro a un aparato donde su depósito queda bañado por el vapor procedente de un recipiente donde hay agua en ebullición. Cuando el termómetro toma la temperatura del vapor, y su nivel queda nuevamente estacionario, se hace otra señal a la altura alcanzada por el mismo. Finalmente el espacio comprendido entre ambas señales, se divide en partes iguales o grados de acuerdo con la escala que se quiera usar.



Escalas termométricas centígrada, Réaumur y Farenheit.

Escalas termométricas. — Si los puntos de referencia se marcan respectivamente con el 0 y el 100 y dividimos el espacio comprendido entre ellos en cien partes iguales, habremos formado la *escala centígrada* o *de Celsius.*

Si a los puntos fijos asignamos los valores 0 y 80 y dividimos el espacio entre ellos en ochenta partes, tendremos la *escala Réaumur.*

Si a los puntos fijos se les asignan los valores 32 y 212 y dividimos el espacio entre ellos en ciento ochenta partes, obtenemos la *escala Farenheit.*

La graduación se continúa por encima y por debajo de los puntos de referencia. Cada una de las divisiones obtenidas recibe el nombre de grado centígrado, Réaumur o Farenheit, respectivamente. A cada temperatura corresponderá un valor diferente según la escala a que se refiera.

La escala centígrada se emplea en todo el mundo menos en los países de habla inglesa, donde se emplea la Farenheit. La Réaumur se emplea en Suiza.

Dada una temperatura expresada en grados de una de las tres escalas, puede averiguarse qué valor corresponde en otra escala cualquiera. Para ello se hace uso de la siguiente proporción:

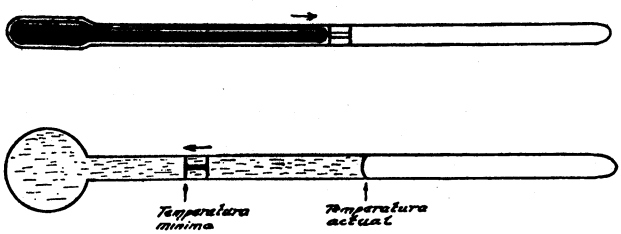
$$\frac{C^o}{100} = \frac{R^o}{80} = \frac{F^o - 32}{180}$$

que se deduce de la comparación de las diversas escalas.

Termómetros especiales. — Para determinados usos son necesarios termómetros especiales.

Cuando se han de efectuar mediciones precisas, deben usarse termómetros muy *sensibles;* es decir, capaces de apreciar décimas y hasta centésimas de grado. Éstos se construyen de forma que sus depósitos contengan una masa de mercurio relativamente grande, y sus capilares sean lo más delgados posible. De esta manera las divisiones de cada grado quedan suficientemente separadas para que puedan realizarse divisiones intermedias. Para que estos termómetros no resulten demasiado largos y difíciles de manejar, solamente abarcan unos pocos grados, siendo necesario disponer de una colección de ellos para medir cualquier temperatura.

El *termómetro de máxima* sirve para determinar cuál ha sido la mayor temperatura alcanzada en un lugar durante cierto tiempo. Se diferencia de un termómetro ordinario en que tiene un índice de hierro dentro del capilar, que es empujado por el mercurio al dilatarse, quedando en la mayor altura.



Arriba: termómetro de máxima (de mercurio). Abajo: termómetro de mínima (de alcohol). Ambos se colocan horizontalmente.

Cuando se quiere poner nuevamente en servicio, se hace retroceder el índice arrastrándolo con un pequeño imán hasta ponerlo en contacto con el mercurio del capilar.

El *termómetro de mínima* permite determinar la temperatura más baja de un lugar durante cierto tiempo. Se construye usando alcohol en lugar de mercurio, y lleva un índice sumergido en el líquido. Cuando la temperatura sube y el alcohol se dilata, rebasa el índice, dejándolo atrás; pero cuando retrocede, la película que forma el menisco arrastra al índice, quedando en la temperatura más baja alcanzada por el termómetro. Para ponerlo en servicio, basta con inclinarlo para que el índice se desplace hasta tocar con el menisco de la columna de alcohol.

Los termómetros de máxima y mínima se colocan horizontalmente.

El *termómetro clínico* es un termómetro de máxima que sólo abarca desde los 35° hasta los 43°; su escala está dividida en décimas de grado. El tubo capilar de este termómetro tiene en su parte más próxima al depósito una estrangulación, por donde el mercurio pasa con dificultad. Cuando la tem-

peratura asciende y el mercurio se dilata, salva el estrechamiento; pero cuando se contrae, se rompe por allí la columna termométrica, quedando marcada la mayor temperatura que alcanzó. Para volverlo a usar es preciso hacer pasar de nuevo el mercurio al depósito, lo que se consigue mediante unas sacudidas ligeras.

Ejercicios

¿Qué es un termómetro? ¿Cuál es el efecto del calor sobre los cuerpos en que se fundan los termómetros?

¿Qué es un termómetro de mercurio?

Medir con un termómetro ordinario la temperatura de algunos cuerpos, como el agua del grifo y el agua previamente calentada al fuego.

Comprobar que el hielo funde a cero grados centígrados, y que el agua hierve a cien grados centígrados.

Examinar un termómetro de máxima y otro de mínima, comprobando que los índices se desplazan al inclinarlos convenientemente.

6. Cambios de estado de los cuerpos

Fusión. — *Se llama fusión el paso de un cuerpo del estado sólido al estado líquido.*

Tomemos un vaso y pongamos en él trocitos de hielo. Introduzcamos un termómetro dentro del vaso, de manera que su depósito quede cubierto por el hielo. Observaremos que al cabo de pocos momentos el hielo comienza a fundirse, mientras el termómetro marca una temperatura constante de cero grados. Podemos hacer que el hielo funda rápidamente colocando el vaso sobre la llama de un mechero; pero de todas maneras, mientras queda hielo sin fundir, la temperatura señalada por el termómetro no varía. Únicamente cuando todo se ha fundido, la temperatura comienza a subir.

Vaso de Devar. Mediante este sencillo recipiente, de uso corriente, se comprueba que la fusión del hielo se debe a la absorción de calor.

Si el hielo se introduce en un vaso de Devar (termo), de manera que quede aislado térmicamente del ambiente más cálido que le rodea, pueden pasar muchas horas sin que se funda.

Estas experiencias demuestran que el paso de un cuerpo del estado sólido al líquido es un fenómeno físico que *se realiza mediante la absorción de calor,* y que tiene lugar con arreglo a las siguientes leyes:

LEYES DE LA FUSIÓN

1. *Cada cuerpo funde a una temperatura fija que se llama punto de fusión.*

2. *Mientras dura la fusión, la temperatura permanece constante.*

A los mismos resultados se llega experimentando con cualquier otra substancia diferente del agua, si bien la temperatura de fusión será distinta en cada caso.

Solidificación. — *Se llama solidificación el paso de un cuerpo del estado líquido al estado sólido.*

Tomemos una cantidad de agua y pongámosla en un vaso rodeada de una mezcla frigorífica, por ejemplo, hielo y sal. Un termómetro colocado dentro del vaso nos indicará que la temperatura del agua va descendiendo lentamente. Cuando el termómetro indica la temperatura de cero grados, observaremos la aparición de pequeños cristales de hielo, que van aumentando en tamaño y número, mientras la temperatura queda estacionada. Únicamente cuando toda el agua se ha solidificado, la temperatura que señala el termómetro sigue bajando.

Esta experiencia demuestra que la solidificación es un fenómeno que *tiene lugar perdiendo calor el cuerpo que solidifica* y con arreglo a las siguientes

LEYES DE SOLIDIFICACIÓN

1. *Cada líquido solidifica a una temperatura fija llamada punto de solidificación.*

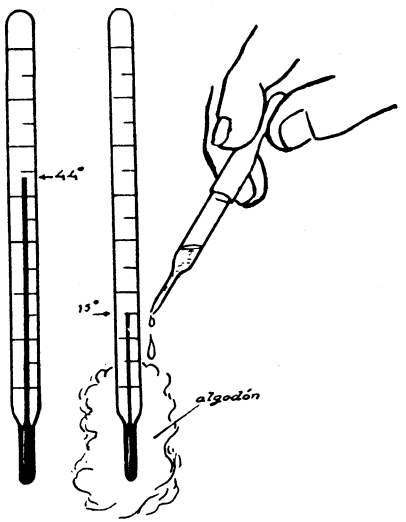
2. *Mientras dura la solidificación, la temperatura permanece constante.*

La fusión y la solidificación son fenómenos inversos, siendo iguales la temperatura de fusión y de solidificación para cada cuerpo.

Vaporización. — Recibe el nombre de *vaporización el paso de un cuerpo del estado líquido al estado gaseoso o de vapor.* Cuando tiene lugar solamente a través de la superficie libre del líquido se llama *evaporación.* Cuando tiene lugar por todos los puntos de la masa líquida recibe el nombre de *ebullición.*

Evaporización. — Vertamos un poco de agua en el suelo o en un vaso muy ancho y observaremos que al cabo de poco tiempo el agua ha desaparecido. Lo ocurrido es que el agua se ha convertido en vapor y se ha difundido en la atmósfera.

Este fenómeno tiene lugar, lo mismo que la fusión, *con absorción de calor,* que el líquido toma, bien de una fuente cualquiera de calor, de otros cuerpos con los que se encuentra en contacto, o bien de ellos mismos, en cuyo caso se enfrían por sí solos.



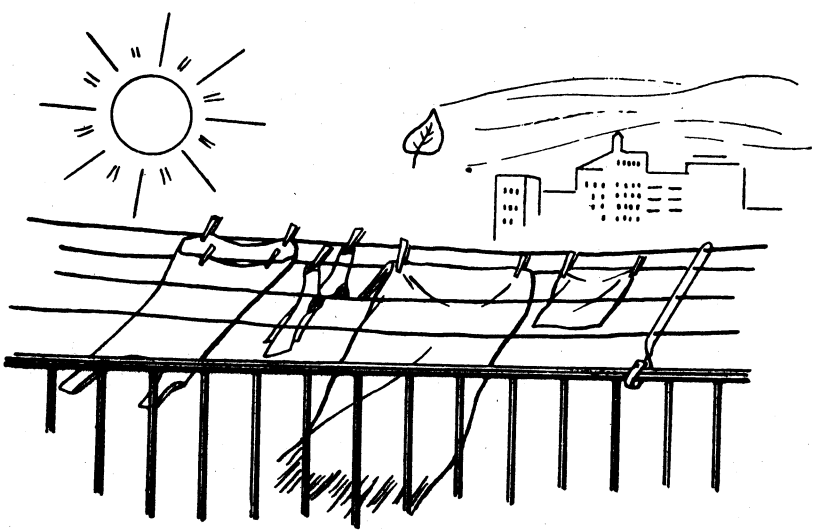
Al evaporarse el líquido del algodón que rodea el termómetro de la derecha, absorbe calor y hace descender la temperatura.

De esto se saca partido en verano cuando se pone el agua a refrescar en vasijas porosas. Éstas van rezumando lentamente agua, que al evaporarse enfría el resto del líquido.

También cuando se riegan las calles, el agua absorbe calor del suelo al evaporarse, con lo cual se consigue refrescar el ambiente.

Los *cuerpos volátiles* son los que como el alcohol y el éter pasan rápidamente del estado líquido al de vapor. Los que, por el contrario, tardan mucho en evaporarse a temperatura ordinaria, como sucede con el aceite y el mercurio, reciben el nombre de *cuerpos no volátiles*.

Causas que favorecen la evaporación. — Un mismo líquido se evapora más o menos rápidamente según las circunstancias en que tiene lugar el fenómeno. Tomemos cantidades iguales de agua y coloquémoslas en vasos más o menos anchos. Observaremos que el agua se evapora más rapidamente cuanto mayor es la superficie libre que presenta.



En este dibujo pueden observarse las diferentes causas que favorecen la evaporación.

Si colocamos cantidades iguales de agua en vasos iguales, y los situamos en ambientes a diferente temperatura, observaremos que tampoco se evapora el agua con la misma rapidez en todos los casos. Se evapora más rápidamente cuanto mayor es la temperatura a que se encuentra.

Por último, pongamos dos cantidades de agua en vasos iguales, y coloquemos uno en un ambiente cerrado y el otro al aire libre. Observaremos que se evapora el agua más rápidamente cuanto mayor es la renovación del aire sobre su superficie.

De estas experiencias podemos sacar en conclusión que *la evaporación del agua, y en general de cualquier líquido, se favorece aumentando su superficie libre, elevando su temperatura y renovando el aire sobre su superficie.*

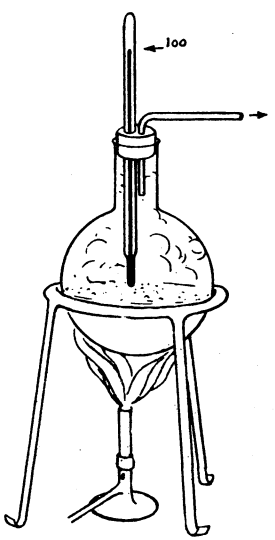
Ebullición. — Pongamos agua en un vaso y coloquémoslo sobre la llama de un mechero Bunsen, poniendo un termómetro dentro de ella. A medida que la temperatura se eleva, comienzan a aparecer burbujas gaseosas que se desprenden silenciosamente y rompen en la superficie. Es el aire que estaba disuelto en el agua, y que se desprende por ser menos soluble en agua caliente que en agua fría. Luego, cuando la temperatura se va aproximando a los 100 grados, comienza a oírse un ruido, mientras empiezan a formarse burbujas en el fondo de la vasija, que desaparecen antes de llegar a la superficie. Ese ruido se conoce con el nombre de *canto del líquido*. Poco después cuando la temperatura del líquido es ya de 100° en todos sus puntos estas burbujas consiguen llegar a la superficie libre y allí rompen pasando a la atmósfera el vapor de agua que encierran. De esta manera el paso de líquido a vapor tiene lugar por todos los puntos de la masa líquida y se dice que el líquido *hierve*. Recibe el nombre de *ebullición el paso de un cuerpo del estado líquido al de vapor, cuando tiene lugar por todos los puntos de su masa.*

Mientras hierve el agua, podremos observar que el termómetro permanece en la misma temperatura de 100 grados (a presión atmosférica normal).

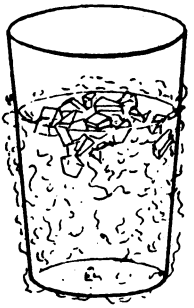
Esta experiencia demuestra que la ebullición es un fenómeno que se realiza con absorción de calor con arreglo a las siguientes leyes:

LEYES DE LA EBULLICIÓN

1. *Cada líquido hierve (a presión atmosférica normal) a una temperatura fija, llamada punto de ebullición.*
2. *Mientras dura la ebullición la temperatura permanece constante.*



El agua (a presión atmosférica normal) hierve a temperatura constante de 100 grados centígrados.



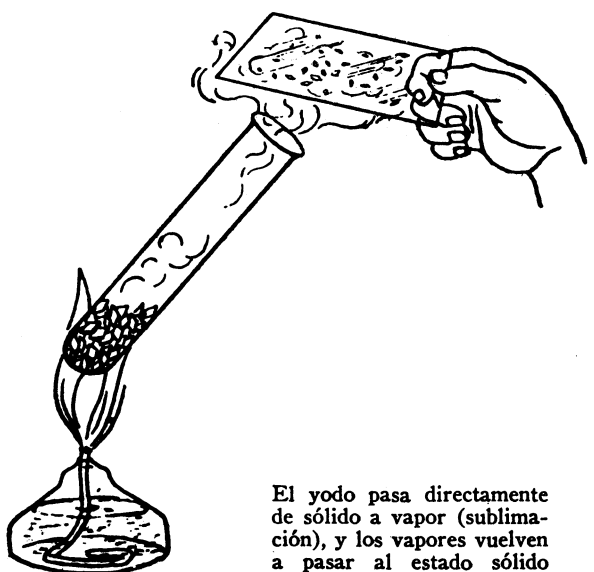
Cuando dentro de un vaso ponemos agua muy fría, sobre su superficie se condensa el vapor de agua y se empaña.

Licuación. — *La licuación es el paso de un cuerpo del estado gaseoso o de vapor al estado líquido.* Es, por tanto, *el paso inverso a la vaporización.*

Cuando en invierno la temperatura es muy baja, hemos observado muchas veces que los cristales de las ventanas se empañan, cubriéndose de pequeñísimas gotas de agua. Este fenómeno es debido a que el vapor de agua que corrientemente se encuentra en la atmósfera, se enfría sobre la superficie del cristal, y pasa por este motivo al estado líquido.

El mismo fenómeno tiene lugar en las noches frías después de días calurosos: el vapor de agua de la atmósfera se condensa en pequeñas gotas, que se depositan sobre las superficies de las plantas y otros objetos, constituyendo el rocío.

La licuación es, pues, un fenómeno que *tiene lugar cediendo calor* el cuerpo que se licua. *Pero no todos los gases pueden pasar al estado líquido por simple enfriamiento. Hay muchos que al mismo tiempo que se enfrían deben someterse a una presión (presión crítica), sin la cual no se licuarían por mucho que se enfriasen.*



El yodo pasa directamente de sólido a vapor (sublimación), y los vapores vuelven a pasar al estado sólido (cristalización) al enfriarse.

Sublimación. — *La sublimación es el paso de un cuerpo directamente del estado sólido al de vapor.*

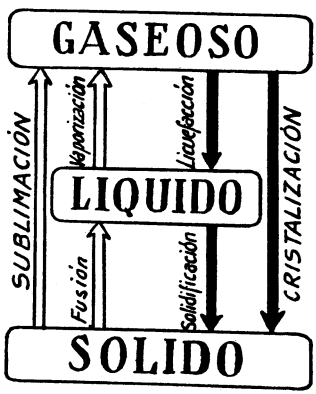
Tomemos unos cristalitos de yodo y pongámoslos en una cápsula, que colocaremos sobre una pequeña llama de un mechero de alcohol. Observaremos que al calentarse comienza a desprender unos vapores densos de color violeta, llegando a desaparecer todo el yodo sin llegar a fundirse.

Si los vapores de yodo se recogen sobre una superficie fría, se condensan y se forman de nuevo cristales de yodo sólido.

La sublimación es un fenómeno que *tiene lugar con absorción de calor.*

La sublimación se emplea en las instalaciones industriales para la purificación de los cuerpos que la presentan.

Los cambios de estado pueden representarse esquemáticamente como indica este gráfico.



En este gráfico, las flechas negras corresponden a los cambios que tienen lugar con absorción de calor y las blancas a los que tienen lugar con desprendimiento de calor.

La fusión, evaporación y sublimación se denominan *directos* y se realizan con absorción de calor. La solidificación, licuación y cristalización se denominan *inversos* y tienen lugar con desprendimiento de calor.

Ejercicios

¿A qué se llama fusión?

Comprobar las leyes de la fusión en el caso del hielo y del azufre.

Comprobar las leyes de la solidificación en el caso del agua, poniendo agua en un vaso rodeado por una mezcla frigorífica de hielo y sal.

Comprobar las causas favorecedoras de la evaporación.

Comprobar que la evaporación tiene lugar con absorción de calor, dejando evaporar sobre la palma de la mano unas gotas de éter.

Comprobar las leyes de la ebullición en el caso del agua. Obsérvese el ruido que se produce momentos antes de que el agua comience a hervir (canto del líquido).

Compruébese la sublimación del yodo, calentando unos cristalitos de este cuerpo en una capsulita de porcelana. Obsérvese cómo el yodo se condensa de nuevo sobre la superficie fría de un cristal.

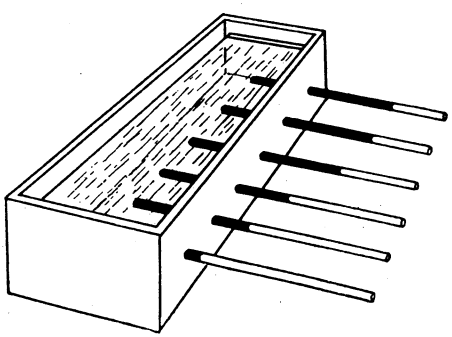
7. Propagación del calor

Propagación del calor. — Cuando un cuerpo caliente se encuentra rodeado de otros a temperatura inferior, les cede calor hasta que la temperatura se equilibra en todos ellos. Por tanto, *el calor se propaga pasando de unos cuerpos a otros.* Vamos a considerar a continuación las distintas maneras de propagación del calor.

Conductibilidad de los sólidos para el calor. — Si tomamos una varilla metálica por un extremo, mientras que el otro se introduce en la llama de un mechero, notaremos al poco rato que también el extremo que nosotros sostenemos esta caliente, y llegará un momento en que nos veremos obligados a soltar la varilla para no quemarnos. Este hecho demuestra que el calor comunicado a un extremo de la varilla metálica se propaga, molécula a molécula, hasta el otro extremo. *El fenómeno de conducción del calor a través de un cuerpo, molécula a molécula, recibe el nombre de propagación por conductibilidad,* y el experimento descrito prueba que *los metales son buenos conductores del calor.*

Si la misma experiencia la hacemos con una vara de madera o de vidrio, observaremos que puede sostenerse a muy poca distancia de la llama sin quemarnos.

Esto demuestra que *la madera y el vidrio son cuerpos malos conductores del calor.*



La parafina que recubre las varillas implantadas en la pared de esta caja de latón, se funde hasta una distancia mayor o menor, según el grado de conductibilidad del metal correspondiente.

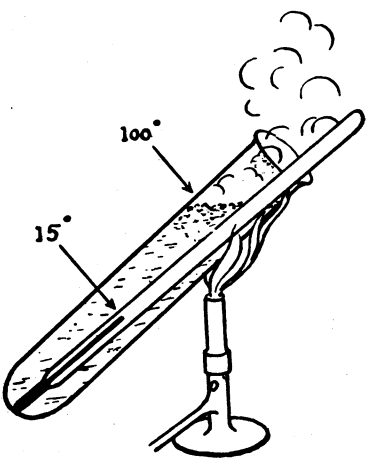
Pero aun los cuerpos buenos conductores del calor no poseen esta propiedad en igual grado. El diferente grado de conductibilidad de los metales se puede poner de manifiesto de la siguiente manera:

Tomemos una caja rectangular de latón, en una de cuyas paredes hay dispuestas unas varillas metálicas, cuyos extremos penetran en el interior de la caja. Estas varillas están recubiertas de parafina. Si llenamos la caja de agua hirviente, observaremos que la parafina que recubre las varillas se funde hasta una distancia mayor o menor según el grado de conductibilidad del metal correspondiente.

Cuando se colocan mangos aisladores de madera o material plástico en las vasijas metálicas destinadas a calentar líquidos, se hace aplicación de la diferente conductibilidad de los sólidos para el calor.

Conductibilidad de los líquidos y gases. — *Los líquidos y gases son malos conductores del calor.*

Pongamos agua en un tubo de ensayo y sujetándolo en posición inclinada calentémoslo aplicando la llama de un mechero a un punto próximo a la superficie. Al cabo de unos momentos observaremos que el agua entra en ebu-



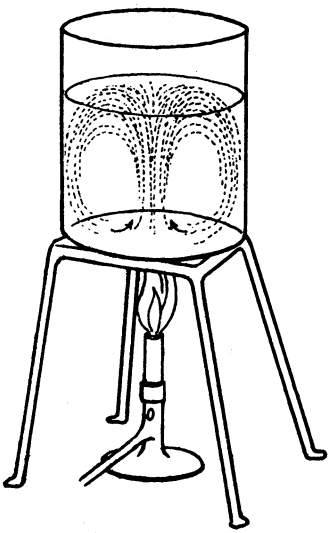
El agua contenida en este tubo de ensayo, puede hervir en la superficie mientras en el fondo apenas se nota una ligera elevación de temperatura.

llición mientras que un termómetro colocado en el fondo del tubo apenas acusará una ligera elevación de temperatura. Esto se debe a que el calor del agua próxima a la superficie se propaga mal a través de ella. Lo mismo ocurre con los demás líquidos.

De esto se deduce, como se ha dicho, que los líquidos son malos conductores del calor.

Con los gases no pueden realizarse experiencias análogas; pero la resistencia opuesta a la propagación del calor por las substancias porosas, como el corcho, lana y otras, que retienen aire en sus intersticios, nos indica que también los gases son malos conductores del calor.

Propagación del calor por convección. — Pongamos a calentar un vaso con agua sobre la llama de un mechero, añadiéndole un poco de serrín. A los pocos momentos observaremos que las partículas de madera entran en movimiento, elevándose por el centro de la vasija y descendiendo por la periferia, lo que indica que el agua se mueve de la misma manera. Este fenómeno se debe a que las partículas de agua más próximas a la llama se calientan



El movimiento de lás partículas de serrín contenidas en el agua de este vaso, nos indica el sentido de las corrientes de convección producidas.

primero, y al dilatarse y hacerse menos densas se elevan hacia las partes altas del líquido. Al mismo tiempo el líquido frío desciende a lo largo de las paredes y toda su masa queda atravesada por corrientes calientes hacia arriba por el centro, y frías hacia abajo por la periferia. De esta manera todo el líquido se calienta uniformemente.

Póngase en comunicación dos habitaciones contiguas, una caliente y otra fría, abriendo la puerta que las separa. Observaremos que se producen corrientes de aire que tienden a igualar la temperatura de ambas habitaciones. Si colocamos dos velas encendidas en la puerta, una en el suelo y otra en el dintel, observaremos que las llamas son arrastradas por dos corrientes de aire, una de la habitación caliente a la fría por arriba, y otra de la habitación fría a la caliente por el suelo.

Se llaman corrientes de convección las que se originan en un líquido o en un gas al calentarse desigualmente. La propagación del calor mediante corrientes de convección recibe el nombre de propagación por convección.

Las corrientes de convección se producen en los líquidos y en los gases cuando se calientan desigualmente, y tienden a igualar la temperatura del líquido o del gas en todas sus partes.

Las variaciones de temperatura en la superficie terrestre producen corrientes de convección en el aire, que reciben el nombre de vientos. Así, el sol durante el día calienta más rápidamente la tierra que el mar y se produce un viento llamado brisa que va del mar a la tierra. Por la noche la tierra se enfría más rápidamente y la brisa sopla en sentido contrario.

Naturalmente, en los sólidos no pueden producirse corrientes de convección, pues sus moléculas están fijas y no pueden desplazarse.

Propagación del calor por radiación. — Un cuerpo puede recibir calor sin estar en contacto con la fuente que lo produce y sin que entre ésta y aquél exista ningún medio material que pueda encargarse de su transmisión por convección o por conducción.

Así sucede con el calor solar, que recorre una enorme distancia a través del espacio hasta llegar a la tierra.

También cuando nos acercamos a una estufa sentimos su calor a cierta distancia.

Se llama propagación por radiación la manera de propagarse el calor sin medio material que sirva de agente de propagación.

Hay cuerpos, como el aire, que dejan pasar el calor radiante en su mayor parte mientras ellos apenas absorben una parte muy pequeña. A éstos se les llama *diatérmicos*. Hay otros, como la madera y el hierro, que no dejan pasar el calor radiante, sino que lo absorben en su mayor parte, calentándose. Éstos reciben el nombre de *atérmicos*.

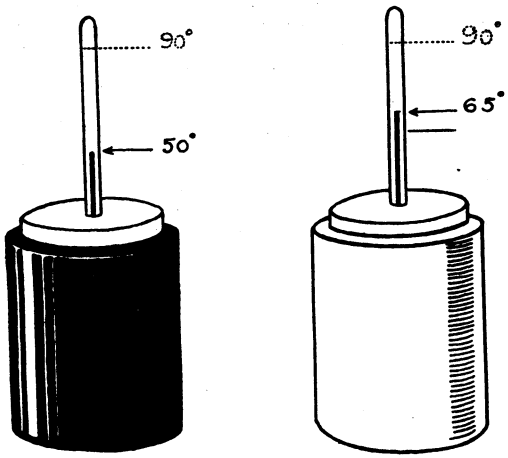
Emisión y absorción del calor. — *Para que un cuerpo caliente emita calor por radiación basta que su temperatura sea superior a la de otros cuerpos situados a su alrededor.* Si acercamos la mano a un trozo de metal incandescente, notaremos calor. Si la acercamos a un trozo de hielo, sentiremos frío, debido a que nuestra mano irradia calor hacia el hielo.

En general, cuando varios cuerpos a diferentes temperaturas se encuentran en presencia, los que están a mayor temperatura irradian calor, que absorben los que están a temperatura más baja, hasta que se igualan sus temperaturas.

Sin embargo, la facilidad que tienen los cuerpos para emitir o absorber calor depende de la naturaleza y del color de su superficie.

Tomemos dos cajas cilíndricas de acero iguales, a cuyas bocas adaptaremos dos tapones atravesados por dos termómetros. Recubramos la superficie de una de ellas de negro de humo, pasándola por encima de una llama de aguarrás. Llenemos ambas cajas con cantidades iguales de agua caliente a la misma temperatura y observaremos que la temperatura de la caja recubierta de negro de humo baja más rápidamente que la del otro, lo que indica que la caja negra pierde el calor más rápidamente.

Inversamente, si llenamos las dos cajas con agua a igual temperatura y las ponemos cerca de una fuente de calor, como una llama, observaremos que



La caja metálica recubierta de negro de humo, emite y absorbe mejor el calor que la que no lo está.

el termómetro de la caja ahumada asciende más de prisa que el otro, lo que indica que la primera caja absorbe calor más fácilmente que la segunda.

Ambas experiencias demuestran que si un cuerpo emite fácilmente calor, lo absorbe también con facilidad y viceversa.

Podrían repetirse las experiencias pintando las cajas de colores diferentes, y se observaría que *en general las superficies pintadas con colores obscuros emiten y absorben el calor con más facilidad que las pintadas de colores claros.*

Una superficie plateada y pulida es la que con más dificultad emite y absorbe calor; una superficie recubierta con negro de humo es la que más fácilmente lo hace.

Ejercicios

¿De cuántas maneras se propaga el calor?

¿Cómo se propaga el calor a través de los metales? Cítense ejemplos de cuerpos buenos y malos conductores del calor.

¿Cómo se propaga el calor en los líquidos y gases calentados desigualmente? Explíquese la formación de brisas.

Compruébense las corrientes de convección en un líquido que se calienta dentro de una vasija, colocando dentro del mismo algunas partículas de serrín.

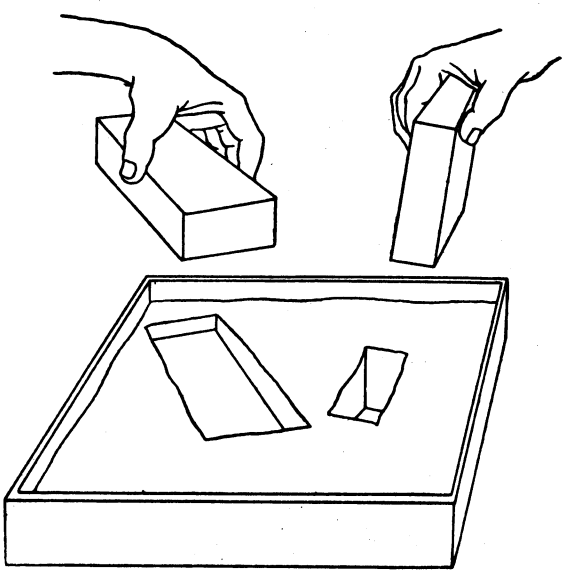
¿De qué manera llega a nosotros el calor solar? ¿En qué consiste la propagación del calor por radiación?

¿Qué cuerpos son los que irradian y absorben mejor el calor y cuáles los que lo irradian con mayor dificultad?

¿Por qué causa se suelen usar tejidos blancos o de colores claros en verano?

8. Los líquidos en equilibrio. Presión

Concepto de presión. — Tomemos una vasija ancha, llena de arena fina y sobre ella hagamos descansar un ladrillo, primero sobre su cara mayor y luego sobre la más pequeña. Observaremos que en el primer caso se hunde menos que en el segundo, a pesar de que el peso del ladrillo es siempre el mismo. Esto indica que, cuando una fuerza actúa sobre una superficie, su efecto depende no sólo del valor de la fuerza, sino del de la superficie sobre la que actúa.



Un ladrillo se hunde tanto más en la arena fina, cuanto menor es la superficie sobre la que se apoya.

Averigüemos ahora la fuerza que soporta cada unidad de superficie en ambos casos. Para ello dividiremos el peso por las superficies respectivas. Si el ladrillo pesa 2.000 gr. y sus superficies mayor y menor miden, respectivamente, 200 cm.^{2} y 25 cm.^{2}, la fuerza ejercida por centímetro cuadrado será, en el primer caso $\frac{2.000 \text{ gr.}}{200 \text{ cm.}^2} = 10$ gr. por cm.^{2}, y, en el segundo, $\frac{2.000 \text{ gr.}}{25 \text{ cm.}^2} =$ $= 80$ gr. por cm.^{2}

Se ve claramente que en el segundo caso la fuerza por unidad de superficie es mayor que en el primero. Cuando una fuerza actúa sobre una superficie, *recibe el nombre de presión a la relación o cociente entre el valor de la fuerza y la superficie sobre la que actúa.*

Es decir:

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}}$$

o sea:

$$P = \frac{F}{S} \qquad \text{de donde} \qquad F = P \cdot S$$

De lo dicho y de las fórmulas anteriores se deduce que también la presión es igual al valor de la fuerza ejercida sobre cada unidad de superficie, y debe expresarse indicando cuántas unidades de fuerza actúan sobre la unidad de superficie que se indique.

Así en el caso del ejemplo anterior, las presiones ejercidas por el ladrillo en ambos casos se expresan diciendo: 10 gramos por centímetro cuadrado y ochenta gramos por centímetro cuadrado o abreviadamente, 10 gr./cm.^{2} y 80 gr./cm.^{2}

Debemos, por tanto, no confundir los conceptos de fuerza y presión. En el mismo ejemplo anterior, la fuerza es el peso del ladrillo, mientras que la presión es una parte de esa fuerza: la ejercida sobre un solo cm.^{2} de la superficie sobre la que se reparte.

Propiedades generales de los líquidos. — Sabemos que *la materia en estado líquido se caracteriza por poseer volumen propio y adoptar la forma de la vasija que lo contiene, salvo en la superficie libre, que es plana y horizontal.*

El tener volumen propio, es decir, el que su volumen no se modifique cuando se les somete a presiones exteriores, es muy característico. La variación de volumen por las presiones exteriores es realmente tan pequeña, que durante mucho tiempo se consideraron como incompresibles. Sin embargo, por métodos especiales puede demostrarse que los líquidos, como todos los cuerpos, disminuyen de volumen al ser comprimidos.

También por procedimientos especiales puede probarse que los *líquidos* recobran completamente su volumen inicial una vez que desaparecen las presiones exteriores; es decir, que *son perfectamente elásticos.*

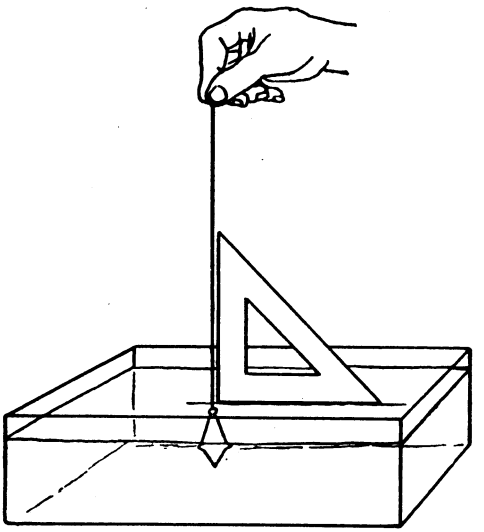
Las moléculas de los líquidos están dotadas de cohesión, si bien su valor es pequeño. Prueba de ello es la forma esférica que adoptan las gotitas de mercurio dejadas caer sobre la mesa, y la forma igualmente esférica adoptada por las gotas de agua cuando caen libremente en el espacio.

No obstante, el pequeño valor de la cohesión es causa de que los líquidos adopten la forma de la vasija que los contiene y de que su superficie libre sea

plana y horizontal. Lo mismo que cuando se vierten perdigones dentro de un vaso, resbalando unos sobre otros, se adaptan al vaso y tienden a tomar en su superficie una forma plana y horizontal.

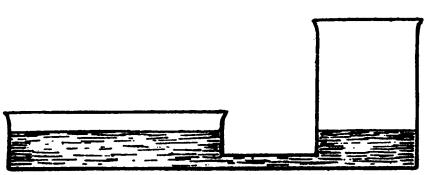
Superficie libre de un líquido. Vasos comunicantes. — La experiencia nos enseña que, tal como hemos dicho, *la forma de la superficie libre de un líquido es plana y horizontal,* o sea perpendicular a la dirección vertical indicada por la plomada.

Para comprobarlo basta tomar un cristalizador lleno de agua, en la que sumergimos un peso, sostenido mediante un hilo. Aplicando a este hilo un cateto de una escuadra, el otro cateto quedará en contacto con el agua, cualquiera que sea su orientación.

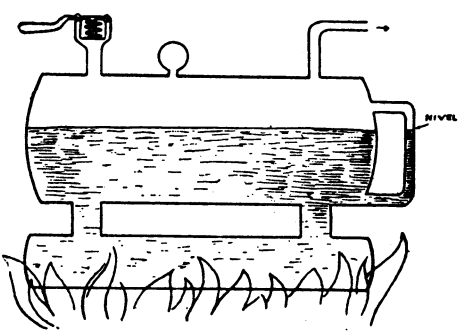


La superficie libre de un líquido es plana y horizontal.

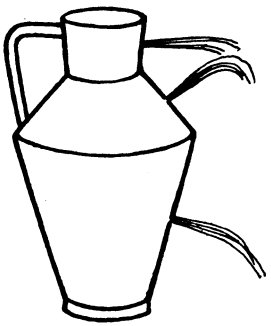
La forma plana y horizontal de la superficie de un líquido en equilibrio es independiente de la forma del vaso y aun de que sean vasos diferentes puestos en comunicación. Es decir, que *cuando un mismo líquido llena dos o más vasos comunicados entre sí, alcanza en todos ellos la misma altura, estando sus superficies libres en el mismo plano horizontal.*



El líquido que llena dos vasos comunicantes alcanza en ellos el mismo nivel, cualquiera que sea su tamaño



El tubo de nivel que se emplea en la caldera de vapor es una aplicación del principio de los vasos comunicantes.



El agua contenida en la vasija sale por todos los orificios que se practican en su pared.

En esto se fundan los *indicadores de nivel* usados en las calderas de las máquinas de vapor. Consisten en un tubo de vidrio de pequeño calibre colocado verticalmente en comunicación con la caldera. El agua alcanza el mismo nivel en el tubo que en la caldera, permitiéndonos saber en todo momento cuál es el nivel del agua en ella aun sin verlo.

Presiones de los líquidos en equilibrio sobre las paredes de los vasos. — Tomemos una vasija como la de la figura y hagamos en sus paredes varios orificios pequeños que taparemos luego con tapones de madera. Llenémosla de agua y quitemos rápidamente los taponcitos. Observaremos que el agua sale por todos los orificios, formando pequeñas venas líquidas, que en el momento de salir son perpendiculares a la superficie de la vasija, aunque después cambian de dirección en virtud del peso del agua.

Este hecho es debido a que los líquidos ejercen cierta presión sobre las paredes de la vasija que los contiene. Esta presión es contrarrestada por la rigidez de las paredes, pero cuando desaparece en algún punto, por allí se vierte el líquido saliendo al exterior.

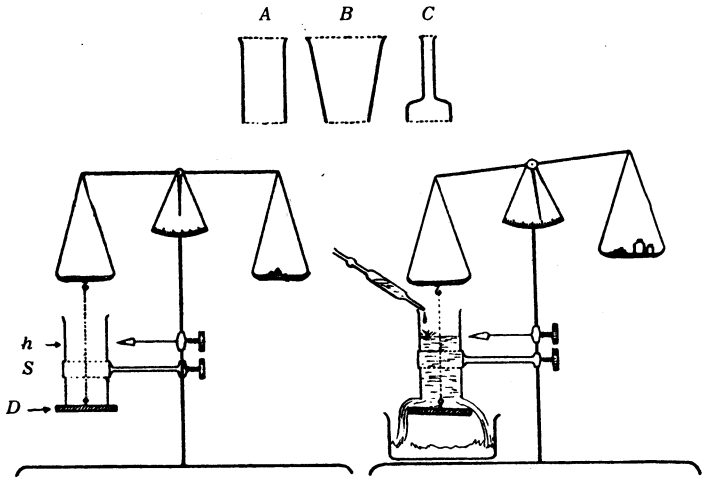
Puede decirse, por tanto, que *los líquidos ejercen una presión sobre las paredes de la vasija que los contiene, normal a ella en todos sus puntos.*

Presión de los líquidos en equilibrio sobre el fondo de los vasos. — Un líquido colocado en el interior de una vasija gravita sobre ella y ejerce, por tanto, una fuerza sobre su fondo.

Para medirla se dispone del aparato de Masson. Consta éste de tres vasos, *A, B* y *C,* de forma y capacidades diferentes, abiertos por ambos extremos, y con secciones iguales en la parte inferior. Estos vasos pueden adaptarse, en cada caso, a un soporte *S* y a un obturador *O*.

Coloquemos en el aparato el tubo cilíndrico *A* y apliquemos el obturador *O* por medio de un hilo suspendido de un platillo de una balanza, equilibrando su peso en el otro platillo mediante perdigones. Al lado de esta tara pongamos pesas de valor conocido, por ejemplo 200 gramos, y vertamos agua dentro del tubo. Se comprende que cuando la fuerza ejercida por el agua sobre el fondo sea igual a la fuerza con que éste se mantiene adaptado, unas gotas de exceso bastarán para desequilibrar la balanza y hacer que se despegue el obturador, dejando salir agua. Esto ocurre precisamente cuando dentro del vaso cilíndrico se han puesto 200 gramos de agua.

Si ponemos ahora un índice *h* a la altura del nivel del agua y substituimos el tubo cilíndrico por otro cualquiera *B* o *C,* observaremos que el obturador



Aparato de Masson. El obturador se desprende siempre al alcanzar el agua el mismo nivel, cualquiera que sea la forma del vaso.

se abrirá siempre al alcanzar el agua el nivel señalado por el índice. Esto prueba que la fuerza que ejerce el agua sobre el fondo de la vasija sólo depende del área de éste y de la distancia del mismo a la superficie libre del líquido, pero no de la forma de la vasija ni del peso total del agua contenida en ella.

Puede resumirse lo anteriormente expuesto diciendo que: *la fuerza ejercida por un líquido sobre el fondo de la vasija que lo contiene, es igual al peso de una columna de líquido que tiene por base la superficie del fondo y por altura la distancia de éste a la superficie libre.* El peso de esa columna de líquido es igual, según sabemos, a su volumen V por el peso específico del líquido d; pero como el volumen, tratándose de un cilindro, es igual a su base S, por su altura h, resultará que la fuerza ejercida sobre el fondo será:

$$F = V \cdot d = S \cdot h \cdot d$$

Teniendo en cuenta que la presión es igual a la fuerza ejercida sobre cada unidad de superficie, puede decirse también que el líquido ejerce una presión sobre el fondo, cuyo valor será:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{S \cdot h \cdot d}{S} = h \cdot d$$

Es decir que *la presión sobre el fondo de una vasija es igual al producto de la densidad o peso específico del líquido por la distancia desde el fondo a la superficie libre.*

Si h se expresa en centímetros, la presión vendrá dada en gramos por cm.^{2}

Ejercicios

¿Qué es presión y qué diferencia existe entre fuerza y presión?

Enumerar las propiedades generales de los líquidos.

Comprobar que la superficie libre de un líquido en dos vasos comunicantes está en un mismo plano horizontal. Cítese alguna aplicación de los vasos comunicantes.

¿Cómo es la presión que ejercen los líquidos sobre las paredes de la vasija que los contiene?

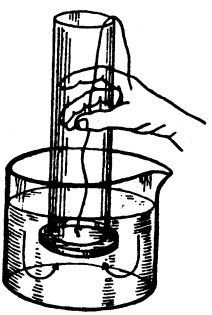
Calcular la fuerza total ejercida por el agua de una vasija sobre su fondo, sabiendo que la distancia del fondo a la superficie libre del agua es de 56 cm. y el área del fondo es de 253 cm.^{2} (Hay que aplicar la fórmula $F = S \cdot h \cdot d$.)

Repetir el cálculo suponiendo que el líquido fuese ahora mercurio, cuya densidad vale $d = 13{,}59$.

Calcular la presión ejercida sobre el fondo en los dos casos anteriores, y nótese la diferencia entre los valores hallados para la fuerza total y la presión.

9. Los líquidos en equilibrio. Principio de Pascal

Presión en un punto del interior de un líquido. — Tomemos un tubo cilíndrico provisto de un obturador. Adaptemos éste mediante un hilo e introduzcámoslo dentro de un vaso con agua, soltando luego el hilo. Observaremos que el obturador permanece adaptado al tubo, lo que prueba que el líquido ejerce sobre él una fuerza que le impide desprenderse por su peso.



El obturador no se desprende debido al empuje que el líquido ejerce sobre él, de abajo a arriba.

Si vertemos agua dentro del tubo, el obturador se desprenderá cuando el peso del agua sea igual a la fuerza que el líquido exterior ejerce sobre él, de abajo arriba. Esto sucede cuando el nivel del líquido es el mismo dentro del tubo que fuera.

Esta experiencia demuestra que *una superficie en el interior de un líquido soporta una fuerza igual al peso de una columna del mismo, que tiene como base la superficie considerada y por altura la distancia de ella a la superficie libre del líquido.*

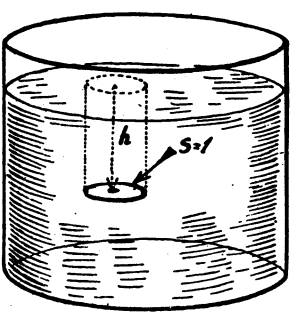
Si la superficie es S, el peso específico del líquido es d y h la distancia desde la superficie hasta el nivel del líquido, la fuerza será:

$$F = S \cdot h \cdot d$$

Consideremos ahora un punto en el seno de un líquido y supongamos una superficie S en torno a él, colocada horizontalmente. Según acabamos de decir, la fuerza que ejercerá el líquido sobre ella será $F = S \cdot h \cdot d$; y recordando nuevamente que la presión es igual al cociente de la fuerza por la superficie sobre que se ejerce, será:

$$p = \frac{F}{S} = h \cdot d$$

Es decir que *la presión en un punto de una masa líquida es igual al peso de una columna del mismo que tiene por base la unidad de superficie colocada en el punto considerado y por altura la distancia del mismo a la superficie libre del líquido.*



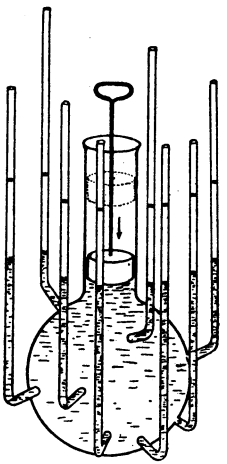
La presión en el punto A es igual al peso de la columna líquida de base unidad y de altura (h) igual a la distancia desde A a la superficie libre del líquido.

Su valor se obtiene multiplicando la distancia desde el punto a la superficie del líquido por el peso específico del mismo. Si la altura se expresa en centímetros, la presión viene dada en gramos por centímetro cuadrado.

Como consecuencia se deduce que *todos los puntos situados en un mismo plano horizontal tienen igual presión,* ya que la diferencia de altura es nula.

También se deduce de todo lo expuesto que *la diferencia de presión entre dos puntos de una masa líquida es igual al peso de una columna de líquido que tiene una sección unidad y por altura la diferencia de alturas entre los dos puntos* (principio fundamental).

Transmisión de las presiones en los líquidos. — Tomemos un tubo por cuyo interior puede desplazarse a modo de émbolo un cilindro macizo, y que termina por su parte inferior en una esfera con varios orificios, a los cuales se aplican otros tantos tubos acodados con sus ramas libres verticales. Si llenamos de agua este aparato, y ejercemos sobre ella una presión mediante el émbolo, observaremos que el agua asciende por todos los tubos, lo que demuestra que la presión ejercida por nosotros se ha comunicado a todos los puntos de la masa de agua.



La presión ejercida por el émbolo se transmite a todos los puntos del líquido.

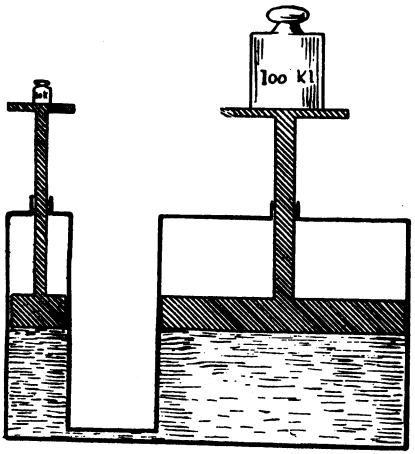
Puede llegarse a igual conclusión recordando que la diferencia de presión entre los puntos de una masa líquida no depende más que de la diferencia de alturas entre ellos. Por tanto, si en uno de ellos aumenta la presión por cualquier motivo, cualquier otro debe sufrir el mismo aumento para que la diferencia entre ellas no varíe.

Esto fue expresado primeramente por Pascal y se conoce con el nombre de *principio de Pascal.* Puede expresarse diciendo que *la presión ejercida en un punto de una masa líquida se transmite íntegramente a todos los puntos de su masa.*

Prensa hidráulica. — Una aplicación del principio de Pascal es la prensa hidráulica.

Supongamos dos vasos comunicantes cuyas secciones sean, respectivamente, 100 y 10 centímetros cuadrados, y en ambos agua que alcanza el mismo nivel. Pongamos ahora sobre la superficie libre del agua en los dos vasos dos cilindros macizos cortos que actúen de émbolos, ajustándose suavemente a las paredes de los tubos.

Si sobre el émbolo del tubo estrecho colocamos un peso, por ejemplo diez kilos, actuará sobre la superficie libre del agua en aquel tubo, que es de 10 $cm.^2$, y ejercerá una presión que calcularemos dividiendo la fuerza ejer-



La fuerza ejercida sobre el émbolo de sección menor se transmite al otro, con una intensidad tantas veces mayor como sea la sección del segundo con relación al primero.

cida por la superficie sobre la que se reparte; es decir, que la presión valdrá

$p = \frac{10 \text{ kg.}}{10 \text{ cm.}^2} = 1 \text{ kg/1 cm.}^2$, o sea un kilo por centímetro cuadrado.

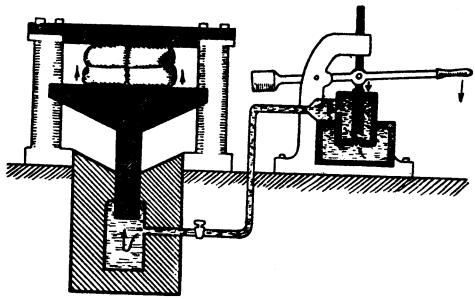
Esta presión, según el principio de Pascal que acabamos de enunciar, se transmite íntegramente a todos los puntos de la masa líquida y, por tanto, a los puntos de la superficie libre del líquido en el vaso ancho, la cual actuará sobre su respectivo émbolo y le desplazará hacia arriba. Si se quiere impedir este desplazamiento, será necesario contrarrestar la fuerza que se ejerce sobre él, que, según sabemos, vale un kilo por cada centímetro cuadrado. Puesto que su superficie vale 100 centímetros cuadrados, será preciso colocar sobre él un peso de 100 kilos.

Resulta así que ejerciendo sobre la superficie del tubo estrecho una fuerza, se obtiene en el ancho otra diez veces mayor. Precisamente las fuerzas están en la misma relación que las secciones de los tubos, lo que se expresa mediante la proporción

$$\frac{F}{F'} = \frac{S}{S'}$$

Éste es el principio de la prensa hidráulica, que *consta esencialmente de dos cilindros o cuerpos de bomba de secciones diferentes que se comunican entre sí. En cada uno de ellos se mueve un émbolo, el mayor de los cuales termina en una plataforma destinada a recibir los cuerpos que se quieren comprimir.*

La fuerza ejercida sobre el más estrecho se transmite al otro, con una intensidad tantas veces mayor como sea la sección del segundo respecto al primero.



Prensa hidráulica.

Las prensas hidráulicas tienen gran aplicación en la industria cuando se desea producir grandes presiones.

Así ocurre para obtener el aceite de oliva. La aceituna machacada y convertida en pasta se coloca en unos capachos de esparto que se depositan unos sobre otros en la plataforma del émbolo mayor de la prensa. Cuando comienza a actuar el émbolo de pequeña sección, el mayor asciende comprimiendo los capachos fuertemente y haciendo escurrir el aceite que contiene la pasta de aceituna.

Con estas prensas hidráulicas se pueden obtener fuerzas hasta de 100 toneladas.

También se explica por el principio de Pascal el hecho conocido de que cuando en el agua de un río o en el mar se sumerge una carga explosiva y se hace estallar, mueren los peces que se encuentran en un gran radio desde el punto de la explosión. Esto es debido a que la presión producida por ésta se transmite íntegramente a todos los puntos del agua a una gran distancia y la reciben los peces, cuyas vejigas natatorias se rompen, causándoles la muerte.

Ejercicios

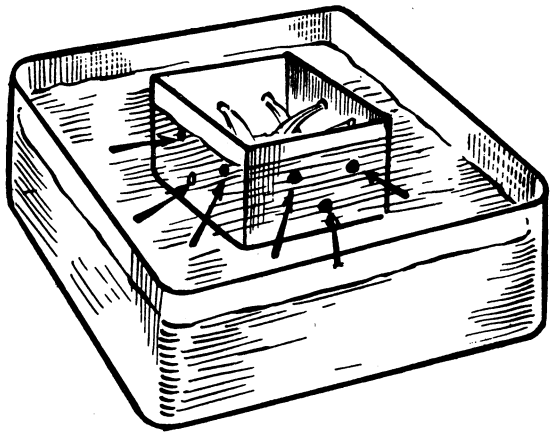
Hallar la presión en un punto del seno de una masa de agua ($d = 1$) situado a 150 cm. de profundidad.

Hallar la diferencia de presión que existe entre dos puntos de una masa de agua, entre los que hay una diferencia de nivel de 75 cm.

Repetir los dos ejercicios anteriores suponiendo que se trate de mercurio en vez de agua. (Densidad del mercurio, $d = 13{,}59$.)

Calcúlese la fuerza que puede obtenerse en el émbolo de sección mayor de una prensa hidráulica, sabiendo que la fuerza que se ejerce en el de menor sección es de 100 kilos y que las secciones de ambos émbolos son 25 cm.^{2} y 300 cm.^{2}

Calcular el valor de la presión que soportan los émbolos en el caso del ejemplo anterior.

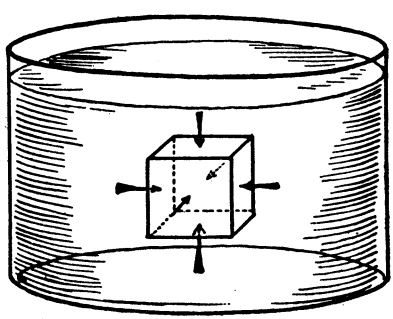


Cuando se introduce en el agua una caja cuyas paredes y fondo tienen orificios, el agua penetra por todos ellos.

10. Cuerpos sumergidos y flotantes. Principio de Arquímedes

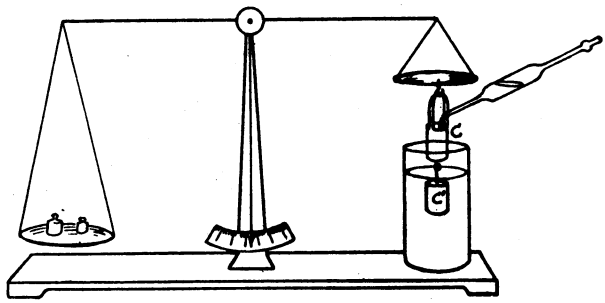
Empuje de los líquidos sobre los cuerpos sumergidos.—Introduzcamos en una vasija con agua una caja metálica vacía, con la abertura hacia arriba. Notaremos primeramente que para introducirla hemos de vencer cierta resistencia que opone el líquido. Si en las paredes de la caja practicamos una serie de pequeños orificios, al introducirla en el agua observaremos que ésta penetra en el interior de la caja por todos los orificios de sus paredes. Esto prueba que *el líquido exterior ejerce una presión sobre las paredes y sobre el fondo de la caja, cuyo resultado es un empuje hacia arriba que tenemos que vencer para sumergirla.*

Supongamos ahora la caja cerrada herméticamente y sumergida completamente en el líquido. Cada una de sus caras sufrirá una presión por parte del líquido exterior. Las presiones ejercidas sobre las paredes laterales se contrarrestarán y anularán mutuamente. En cambio, la fuerza de abajo arriba que soporta la cara inferior es ma-



Las presiones ejercidas por el líquido sobre las paredes laterales de esta caja se anulan mutuamente. La diferencia entre las que recibe en su cara inferior y superior es el empuje que recibe de la caja.

yor que la fuerza de arriba abajo que soporta la superior, pues la distancia de ellas a la superficie libre del líquido es mayor en el primer caso que en el segundo. La diferencia entre una y otra es precisamente el empuje que, en conjunto, recibe la caja al ser sumergida en el líquido.



Balanza hidrostática

Principio de Arquímedes. — Para determinar este empuje de abajo arriba que sufre un cuerpo sumergido en un líquido, se usa la balanza hidrostática. Ésta es una balanza ordinaria sin más diferencia que el que uno de sus platillos queda mucho más alto que el otro, y tiene en su parte inferior un ganchito. Colguemos de éste un cilindro hueco *C*, y de éste a su vez otro macizo *C'* cuyo volumen es exactamente igual a la capacidad del cilindro hueco. Equilibremos el peso de ambos colocando en el otro platillo de la balanza perdigones o arena en cantidad necesaria. Si sumergimos ahora el cilindro macizo en agua o en otro líquido cualquiera, la balanza se desequilibrará.

Para establecer el equilibrio basta con llenar de líquido el cilindro hueco. Esto prueba que el empuje que sufre hacia arriba el cilindro *C'* es igual al peso de un volumen de líquido igual al suyo.

En esto consiste el principio de Arquímedes, que se enuncia diciendo: *Todo cuerpo sumergido en un líquido recibe por parte de éste un empuje vertical hacia arriba igual al peso del volumen del líquido desalojado.*

Peso aparente de los cuerpos sumergidos. Cuerpos sumergidos y flotantes. — De acuerdo con lo expresado por el principio de Arquímedes, todo cuerpo sumergido en un líquido está sometido a una fuerza vertical hacia arriba, que es lo que llamamos empuje. Pero al mismo tiempo el cuerpo está solicitado por otra fuerza vertical hacia abajo, que es su propio peso. Así pues, *todo cuerpo sumergido en un líquido queda sometido a dos fuerzas verticales, pero de sentidos contrarios: su peso, que actúa hacia abajo, y el empuje del líquido, que actúa hacia arriba.*

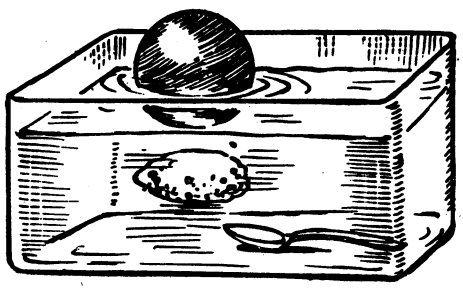
Según sean ambas fuerzas, pueden darse los tres casos siguientes:

1. *Si el peso del cuerpo es mayor que el empuje del líquido ($P > E$), el cuerpo se hunde* solicitado por una fuerza igual a la diferencia entre el

peso y el empuje $(P - E)$. Esta fuerza se llama *peso aparente* del cuerpo en el líquido.

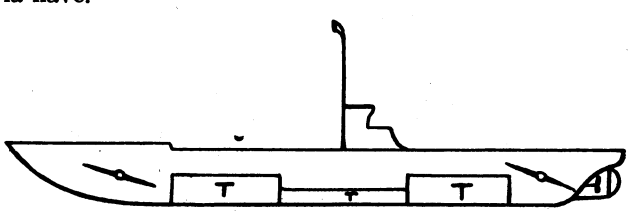
2. *Si ambas fuerzas son iguales* $(P = E)$, *el cuerpo queda en equilibrio en cualquier punto del líquido, sin que se hunda ni flote.*

3. *Si el peso del cuerpo es inferior al empuje* $(P < E)$ *que sufre por parte del líquido, sale a la superficie,* solicitado por la fuerza $E - P$. En este caso el cuerpo queda en equilibrio cuando una parte del mismo emerge del líquido. El peso del cuerpo es igual al de un volumen de líquido igual a la parte del mismo que queda por debajo de la línea de flotación.



Un cuerpo flota, queda entre dos aguas o se hunde, según que su peso sea menor, igual o mayor, que el del volumen del líquido que desaloja.

Submarinos. — El principio de Arquímedes encuentra aplicación en los submarinos. Estas naves pueden navegar sobre el agua, porque en tal caso su peso es menor al peso del agua desalojada. Para sumergirse, se deja penetrar el agua en unas cámaras que antes estaban llenas de aire. Cuando se quiere emerger de nuevo se expulsa el agua de las cámaras mediante unas bombas o por medio de aire comprimido, y al disminuir el peso del submarino predomina otra vez el empuje del agua, que le lleva a la superficie. El movimiento de traslación se consige mediante una hélice, y para cambiar de dirección los submarinos llevan un juego de timones que se mueven desde el interior de la nave.



Submarino. Los tanques T se inundan o se vacían a voluntad para sumergirse o salir a flote.

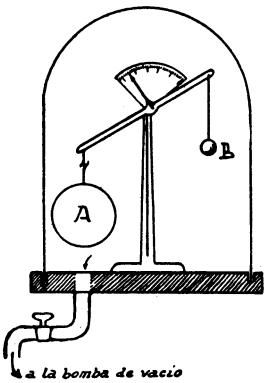
El principio de Arquímedes aplicado a los gases. — El principio de Arquímedes se aplica también a los gases.

Los gases ejercen sobre los cuerpos sumergidos en ellos un conjunto de

presiones cuyo resultado es un empuje vertical hacia arriba igual al peso del volumen de gas desalojado.

Podemos demostrar la existencia de ese empuje mediante un aparato llamado baroscopio. Consiste en una pequeña balanza de cuyos brazos se encuentran suspendidos, de un lado, una esfera de vidrio vacía y, de otro, una pequeña masa metálica, destinada a equilibrar el peso de la esfera.

Regulemos la posición de la masa metálica de forma que la balanza quede equilibrada en el aire, e introduzcámosla debajo de la campana de una



Baroscopio. La esfera A y la masa metálica B se desequilibran cuando se hace el vacío en la campana donde se encuentra el baroscopio.

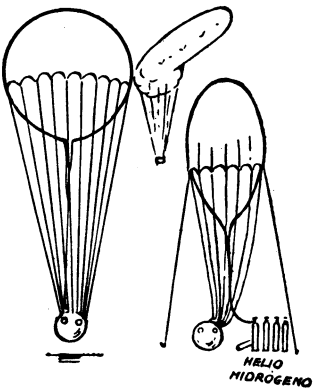
máquina neumática. Al hacer el vacío bajo la campana, el equilibrio se rompe como si realmente pesase más la esfera de vidrio. Dejando entrar nuevamente el aire, el equilibrio se restablece.

Lo que ocurre realmente es que el aire en que la esfera se encuentra sumergida ejerce sobre ésta un empuje que hace que pese menos, aparentemente, que cuando está en el vacío.

De un modo general, el principio de Arquímedes se enuncia diciendo: *Todo cuerpo sumergido en un flúido (líquido o gas) recibe un empuje vertical hacia arriba igual al peso del volumen de flúido desalojado.*

Peso aparente de los cuerpos sumergidos en un gas. — Del mismo modo que en el caso de cuerpos sumergidos en líquidos, los cuerpos sumergidos en gases quedan sometidos a dos fuerzas verticales y opuestas, que son su peso y el empuje del gas. Si predomina el primero, el cuerpo cae solicitado por una fuerza llamada *peso aparente,* igual a la diferencia entre su peso en el vacío (llamado peso real) y el peso del volumen de gas desalojado. Si ambos pesos son iguales, el cuerpo queda en equilibrio en cualquier punto en que se encuentre. Por último, si el empuje que recibe por parte del gas es superior a su propio peso, el cuerpo asciende solicitado por una fuerza llamada ascensional, que es igual a la diferencia entre el empuje y el peso del cuerpo.

Los globos aerostáticos están constituidos esencialmente por una envoltura ligera que se llena de un gas más ligero que el aire.



Aerostatos. — Una aplicación del principio de Arquímedes aplicado a los gases la constituye la navegación aérea por medio de globos aerostáticos y dirigibles.

Los globos aerostáticos están constituidos esencialmente por una envoltura ligera que se llena de un gas menos pesado que el aire. La diferencia entre el peso de la envoltura, juntamente con todos los aparatos y el gas de que está llena, y el peso del aire desalojado, es su fuerza ascensional.

Cuando, una vez lleno el globo del gas ligero que se use, se sueltan las amarras que le ligan al suelo, asciende por su fuerza ascensional. Cuando se quiere que el globo descienda, se abre una válvula que permite la entrada de aire dentro de la envoltura, y al aumentar ésta de peso el globo desciende.

Estos globos aerostáticos, una vez en el aire, quedan sometidos a la acción de los vientos, sin que puedan dirigirse por la voluntad de los tripulantes.

Esto se consigue en los dirigibles, que son globos de forma alargada, los cuales, una vez en el aire, se mueven horizontalmente gracias al arrastre de varias hélices movidas por motores muy potentes. La dirección se imprime mediante un juego de timones que pueden manejar los tripulantes a voluntad.

Ejercicios

Enúnciese el principio de Arquímedes.

¿Cuál es la causa de que, aparentemente, pesen menos los cuerpos sumergidos en el agua que cuando están en el aire.

¿De qué causas depende el que un cuerpo flote, quede entre dos aguas o se hunda al dejarlo caer en el agua?

¿Qué maniobra realiza un submarino para salir a la superficie?

Calcúlese la fuerza ascensional de un globo que contiene 100 m.^{3} de hidrógeno, sabiendo que la envoltura y aparatos tienen un peso total de 50 kilos. (Peso de 1 l. de aire, 1,2 gr., y de 1 l. de hidrógeno, 0,089 gr.)

¿Qué fuerza ascensional tendría el globo del ejemplo anterior si estuviese lleno de helio en vez de hidrógeno? (Peso de 1 l. de helio, 0,35 gr.)

11. El agua

El agua. Generalidades. — *El agua es un cuerpo muy abundante en la naturaleza,* cubriendo casi las tres cuartas partes de la superficie del globo terrestre.

A temperatura ordinaria es líquida, y posee todas las propiedades que sabemos corresponden a los cuerpos en este estado de agregación.

Las temperaturas de cambio de estado del agua han sido tomadas como puntos fijos para la graduación de los termómetros. La temperatura de fusión del hielo corresponde a los 0° del termómetro centígrado y la de la ebullición del agua líquida a los 100°, tomadas ambas a la presión atmosférica normal.

El agua se dilata por efecto del calor, pero su dilatación presenta una anomalía que consiste en que cuando se calienta el agua a partir de los 0° su volumen disminuye hasta los 4° centígrados, aumentando nuevamente su volumen a partir de dicha temperatura. *El volumen de una masa de agua presenta, pues, un valor mínimo a los cuatro grados centígrados.*

Al solidificar el agua su volumen crece y disminuye su densidad, en lo que se diferencia de la mayor parte de los cuerpos. Por esta razón el hielo flota sobre el agua líquida, y cuando se congela el agua dentro de una vasija herméticamente cerrada ejerce sobre sus paredes gran presión, llegando a romperlas aun siendo muy resistentes.

El agua en la naturaleza. — *El agua se presenta en la naturaleza en sus tres estados.* En forma de hielo se encuentra en las regiones frías de la tierra y en la cumbre de las montañas. Bajo la forma líquida constituye los océanos y los mares, así como los ríos y lagos. En forma de vapor se encuentra en la atmósfera en mayor o menor proporción, según la proximidad de los mares o ríos, de donde se evapora lentamente.

Suele hacerse una distinción entre aguas marinas y continentales. Las primeras comprenden las de los océanos y mares y las segundas las de los ríos y lagos, las aguas subterráneas y las que se encuentran en estado sólido formando los hielos y las nieves.

El agua forma parte de los tejidos vivos, animales y vegetales. En los minerales se encuentra bajo formas diversas. Unas veces retenida entre los cristales elementales (agua de interposición) y otras formando parte de las redes cristalinas (agua de cristalización).

Aguas potables. — *Las aguas que son aptas para la bebida reciben el nombre de aguas potables.*

Para que un agua pueda calificarse de potable no debe contener más de 0,5 gr. de sales disueltas por litro. Debe ser, además, fresca, tener sabor agradable, no contener substancias que revelen la presencia de materia orgánica en descomposición y carecer en absoluto de gérmenes patógenos.

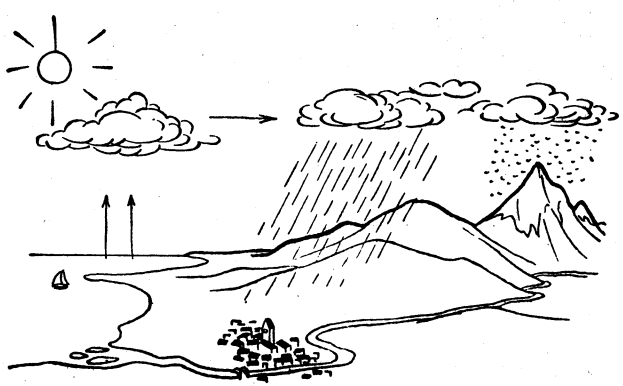
La cantidad de sales cálcicas y magnésicas de un agua determina su dureza, llamándose *aguas duras* cuando las contienen en abundancia y *aguas blandas* cuando las contienen en pequeña proporción. Las aguas duras cuecen mal las legumbres, dan poca espuma con el jabón y no pueden emplearse en la industria porque forman en las calderas un depósito que disminuye su rendimiento y las deteriora.

El agua como disolvente. — *Todas las aguas naturales contienen cierta cantidad de substancias en disolución.* El agua del mar contiene gran cantidad de sal común, a la que debe su sabor salado. Las aguas de río y lago contienen disuelto aire y sales procedentes de los terrenos que atraviesan, e incluso las aguas de lluvia y nieve contienen aire disuelto.

Calentemos una pequeña cantidad de agua natural en una cápsula de platino. Observaremos que se desprenden pequeñas burbujas de aire antes de que el agua comience a hervir, debido a que el aire es menos soluble en el agua caliente que en el agua fría. Luego, al evaporarse completamente el agua, queda un residuo salino que se debe a substancias minerales que también se encontraban en disolución.

El agua es el disolvente por excelencia. En ella se disuelven en mayor o menor proporción numerosísimas substancias sólidas, líquidas y gaseosas como sal común, alcohol, anhídrido carbónico.

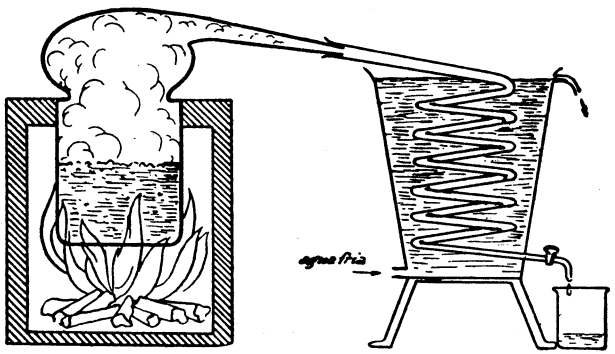
Si añadimos al agua contenida en un vaso una pequeña cantidad de una sal llamada nitrato sódico, se disolverá rápidamente. Si añadimos una cantidad mayor, se disolverá también; pero si continuamos añadiendo, llegará un momento en que el agua no puede disolver mayor cantidad de sal, y ésta queda en el fondo del vaso en estado sólido. Si calentamos entonces el agua,



Ciclo del agua en la Naturaleza.

observaremos que todavía se disuelve mayor cantidad de nitrato sódico. Esto prueba que *en general la solubilidad de los cuerpos aumenta con la temperatura.* Las disoluciones que contienen pequeña cantidad de cuerpo disuelto se denominan *disoluciones diluidas.* Las que tienen mayor cantidad de cuerpo disuelto reciben el nombre de *disoluciones concentradas,* y aquellas que contienen disuelta toda la cantidad de soluto que pueden disolver a la temperatura a que se encuentran reciben el nombre de *disoluciones saturadas.*

El agua destilada. — Cuando se quiere disponer de agua pura, se recurre generalmente al agua natural, a la que se priva de todas las substancias que pueda llevar en disolución. Esto se realiza mediante una operación llamada destilación, empleando unos aparatos llamados alambiques.



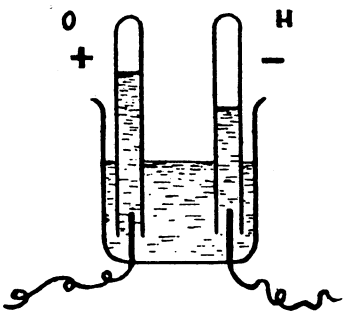
Alambique. El vapor de agua que se produce en la caldera o cucúrbita pasa al serpentín, donde se enfría y se condensa de nuevo.

Un alambique consta de una caldera o cucúrbita donde se pone el agua que se quiere destilar. *De la tapa de esta caldera o capitel sale una largadera que termina en un tubo arrollado en espiral llamado serpentín, el cual se encuentra rodeado exteriormente de agua fría en circulación.* Todo el aparato debe estar estañado interiormente, pues otros materiales podrían ser atacados por el agua pura.

Para destilar el agua se calienta ésta en la caldera hasta la ebullición; los vapores producidos son conducidos por la alargadera hasta el serpentín, donde se enfrían y condensan, recogiéndose el agua destilada en recipientes adecuados.

Para evitar que el agua destilada pueda arrastrar impurezas volátiles que suele contener el agua natural, se agrega a ésta una pequeña cantidad de permanganato potásico y de hidróxido potásico y se desechan las primeras y últimas porciones del destilado. De esta forma el agua destilada obtenida es prácticamente pura.

Ciclo del agua en la naturaleza. — *El agua realiza en la naturaleza un ciclo cerrado, partiendo del mar, que actúa como depósito común, y volviendo a él ininterrumpidamente.* En efecto, el agua de los mares absorbe calor solar y se evapora en grandes cantidades. Al alcanzar el vapor de agua regiones frías, se condensa en pequeñísimas gotas que constituyen las nubes. Estas gotitas van reuniéndose después en gotas cada vez mayores, hasta caer al suelo formando la lluvia, o la nieve y el granizo, si la condensación o la lluvia tiene lugar en regiones donde la temperatura sea inferior a cero grados. El agua de lluvia o procedente del deshielo corre sobre la superficie de la tierra, siguiendo las líneas de mayor pendiente, y forma los torrentes y los ríos, que finalmente desembocan en el mar, donde el agua comienza de nuevo el ciclo, que se repite indefinidamente.



El agua se descompone por electrólisis en sus dos componentes, hidrógeno y oxígeno.

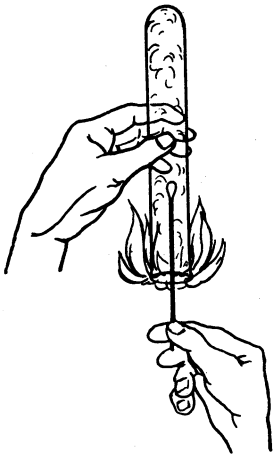
Componentes del agua. — *El agua es un cuerpo compuesto, es decir, formado por otros más sencillos.* Esto puede probarse con un aparato llamado *voltámetro.* Consiste éste en un vaso por cuya parte inferior penetran dos hilos de platino o *electrodos.* En el vaso se pone agua con unas gotas de ácido sulfúrico, que tiene por objeto hacerla conductora de la electricidad, y sobre cada uno de los electrodos se coloca un tubo invertido lleno de agua.

Al ponerse en comunicación los electrodos con los polos de un acumulador comienzan a desprenderse burbujas gaseosas que se acumulan en la parte superior de los tubos. Uno de los gases recogidos ocupa un volumen doble que el otro, y analizados resultan ser hidrógeno y oxígeno. Puede afirmarse, por tanto, que *el agua se descompone por la acción de la corriente eléctrica, y que está formada por dos partes de hidrógeno y una de oxígeno.*

Recibe el nombre de electrólisis la descomposición del agua (o de otro líquido) por la electricidad.

Hidrógeno. — *Es uno de los componentes del agua.* Se puede obtener de ella por electrólisis.

Es un gas incoloro, insípido e inodoro, más ligero que ningún otro cuer-



El hidrógeno es combustible, pero no comburente.

po. Se encuentra libre en las altas regiones de la atmósfera y combinado formando parte de numerosos compuestos, como los petróleos.

Es combustible, pero no comburente; es decir, que arde, pero en su seno se apagan los cuerpos en combustión. Podemos probarlo introduciendo una cerilla encendida en un tubo que contenga hidrógeno: el gas arde y la cerilla se apaga.

En la combustión del hidrógeno se forma agua.

Con el aire o con el oxígeno forma mezclas que explotan fuertemente al acercarles una cerilla, llamándose por esta causa mezcla detonante.

Por su ligereza se emplea para llenar globos, aunque tiene el inconveniente de su inflamabilidad. Por la elevada temperatura que produce cuando arde en atmósfera de oxígeno se emplea también en el soplete oxhídrico para fundir y soldar metales.

Ejercicios

¿A qué temperatura presenta el agua su menor volumen y máxima densidad?

Llénese completamente de agua un tubo de ensayo y tápese con un tapón de forma que no quede dentro del tubo ninguna burbuja de aire. Déjese el tubo dentro de una mezcla frigorífica formada por hielo y sal, y obsérvese cómo al cabo de unos minutos, al solidificar el agua, el tubo se rompe. ¿A qué se debe este fenómeno?

Cítense las condiciones que debe reunir un agua para ser potable.

Compruébese la gran solubilidad en agua del nitrato potásico.

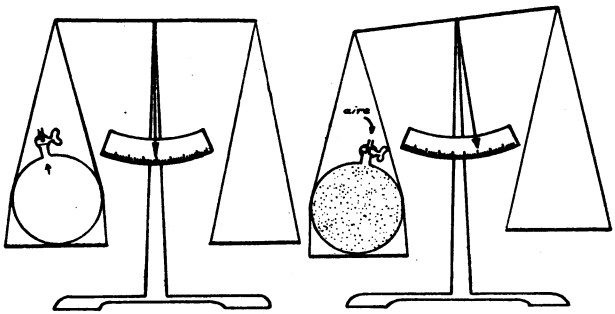
Compruébese que cuando en una cantidad de agua fría no se disuelve ya más cantidad de nitrato potásico (solución saturada), aún puede conseguirse disolver mayor cantidad de sal elevando la temperatura del agua.

Realícese la electrólisis del agua acidulada con un voltámetro y recójanse en dos tubos de ensayo los gases desprendidos.

Obsérvese el volumen de los gases. ¿Qué relación guardan entre sí?

Compruébese que el hidrógeno es combustible.

Compruébese que el hidrógeno forma con el aire mezcla explosiva.



El aire, como todos los cuerpos, está sujeto a la acción de la gravedad, y por lo tanto, pesa.

12. El aire. Presión atmosférica

El aire. — *El aire es la masa gaseosa que nos envuelve* y en cuyo seno vivimos. Sin él sería imposible la vida sobre la tierra. *Es una mezcla de gases en la que cada componente conserva sus propiedades características.*

Aunque su composición varía de unos puntos a otros, puede considerarse constante dentro de ciertos límites.

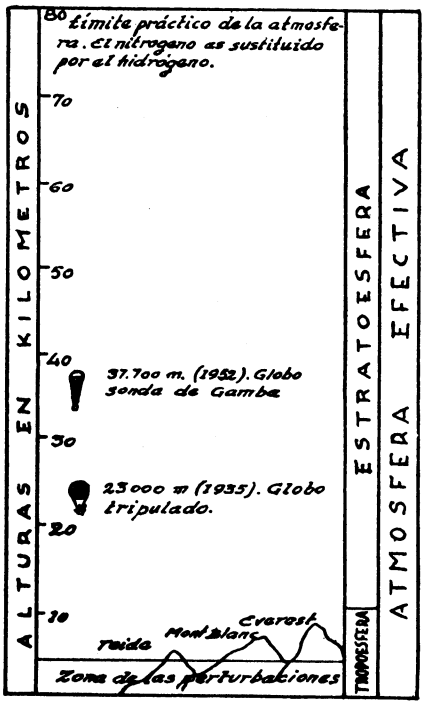
Está formado por oxígeno (21 por 100) y nitrógeno (78 por 100), conteniendo pequeñas cantidades de gases nobles. Contiene además en proporciones diferentes vapor de agua, polvillo atmosférico y accidentalmente otros gases. Posee las propiedades generales de los gases.

El aire, como todos los cuerpos, está sometido a la acción de la gravedad y tiene, por tanto, un peso. Tomemos un balón de vidrio de dos o tres litros de capacidad dotado de una tubuladura con llave, de modo que podamos hacer en él el vacío. Extraigamos el aire del balón mediante una máquina neumática y coloquémoslo sobre el platillo de una balanza, pesándolo así y luego lleno de aire. Observaremos que pesa más cuando está lleno de aire que cuando está vacío y podremos comprobar que el aire pesa aproximadamente 1,3 gramos por litro.

La atmósfera. — *La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la tierra,* constituida por el aire. Forma parte de nuestro planeta, al que sigue en sus movimientos de rotación y de traslación.

Su espesor es difícil de determinar con exactitud. Se le atribuye un espesor de unos 80 kilómetros, que constituye lo que se denomina *atmósfera efectiva.* Por encima de esta capa, el aire se encuentra sumamente enrarecido,

poseyendo propiedades completamente diferentes a las del aire que conocemos. Se admite que esta atmósfera enrarecida alcanza una altura de unos 200 kilómetros, y por encima de ella se admite aún la existencia de otra capa de unos 500 kilómetros formada por un gas muy enrarecido denominado geocoronio. En esta capa es donde se producen las auroras polares. Más allá sólo existen algunas moléculas de helio e hidrógeno.

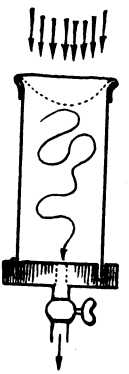


Zonas efectivas de la atmósfera.

En la atmósfera efectiva suelen considerarse varias capas o zonas: hasta los 4.000 metros el aire tiene la composición antes indicada, y es la región donde tienen lugar todas las perturbaciones atmosféricas, vientos, lluvias, tormentas, etc. A partir de esa altura hasta los 11.000 metros, el aire está en calma y sólo se observan movimientos verticales del mismo. Ambas zonas constituyen la *troposfera.* Por encima de los 11.000 metros, el aire se encuentra en completo reposo y se hace francamente irrespirable. A partir de aquí hasta los 80.000 metros constituye lo que se denomina la *estratosfera.*

Presión atmosférica. — *El aire gravita sobre los cuerpos que se encuentran en el seno de la atmósfera y ejerce sobre ellos una presión que recibe el nombre de presión atmosférica.*

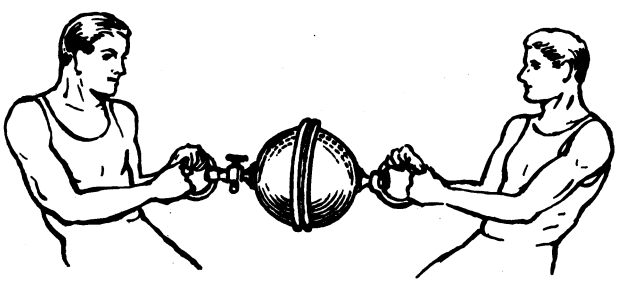
Tomemos un tubo, una de cuyas bocas se adapte perfectamente a la platina de una máquina de vacío, mientras que la otra la tapamos mediante una membrana de goma. Extraigamos el aire del interior del tubo y observaremos que la vejiga comienza a deprimirse y termina por romperse con estrépito debido a la presión del aire exterior.



Al extraer el aire contenido en el interior de este tubo, el peso del aire atmosférico deprime y llega a romper la membrana que lo cierra por su parte superior.

Esta experiencia prueba la existencia de la *presión atmosférica, que se ejerce en todas direcciones,* ya que se consigue la rotura de la vejiga cualquiera que sea la posición en que se mantenga el tubo.

Tomemos dos hemisferios capaces de adaptarse herméticamente por sus bordes. Si una vez adaptados se hace el vacío en su interior, se necesita un



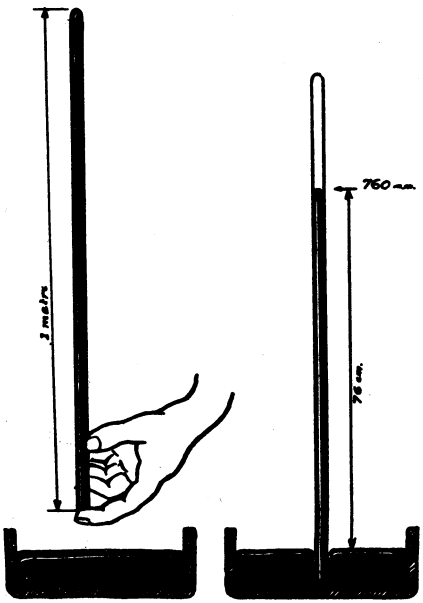
Hemisferios de Magdeburgo.

gran esfuerzo para separarlos, tanto mayor cuanto mayor sea su diámetro. Esta experiencia, clásica en Física, se conoce con el nombre de *hemisferios de Magdeburgo,* y prueba igual que la anterior la existencia de la presión atmosférica.

Medida de la presión atmosférica. Experimento de Torricelli. — La presión atmosférica no puede calcularse como cuando se trata de la presión ejer-

cida por los líquidos, no sólo porque no se conoce exactamente la altura de la atmósfera, sino porque la densidad del aire varía con la altura, sin que se sepa exactamente cómo varía.

Sin embargo, puede realizarse una experiencia que fue llevada a cabo por primera vez por Torricelli, que permite averiguar el valor de la presión atmosférica.



Experimento de Torricelli, famoso físico italiano del siglo XVII, que por vez primera logró pesar el aire.

Tomemos un tubo de vidrio de unos 100 cm. de largo, cerrado por un extremo, y llenémoslo completamente de mercurio. Tapando ahora el extremo abierto con un dedo, se invierte y se introduce en una cubeta conteniendo también mercurio. Al retirar el dedo, manteniendo el tubo vertical, se observa que el mercurio desciende dentro del tubo, hasta quedar su nivel a unos 76 cm. sobre el nivel del mercurio en la cubeta.

Sobre el nivel del mercurio dentro del tubo queda un espacio completamente vacío, llamado *vacío de Torricelli* o *cámara barométrica.*

La explicación de esta experiencia es fácil recordando que todos los puntos de un plano horizontal de un líquido en equilibrio tienen igual presión. Consideremos dos puntos del plano horizontal determinado por la superficie libre del mercurio en la cubeta, uno en el interior del tubo y otro fuera de él. Ambos, según lo que acabamos de decir, deben soportar igual presión. El

primero soporta la presión atmosférica, mientras el segundo soporta la presión hidrostática debida a la columna de mercurio que gravita sobre él. Luego la presión atmosférica es equivalente a la que ejerce una columna de mercurio de 76 cm. de altura.

La presión atmosférica normal es igual al peso de una columna de mercurio que tiene por base 1 cm.² y por altura 76 cm.

Equivale a 1.033 gr. por cm.² Esto quiere decir que un cuerpo en el seno de la atmósfera *queda sometido a una fuerza de un kilo con treinta y tres gramos por cada centímetro cuadrado de superficie.*

Suponiendo que la piel de un hombre de tamaño corriente tenga una superficie de 15.000 cm.², la atmósfera ejercerá sobre él una fuerza total de más de 15.000 kilos.

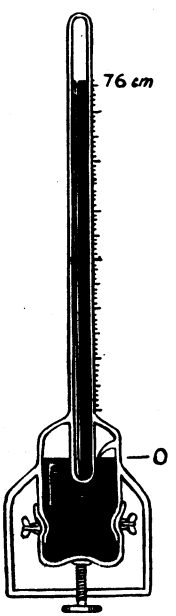
Variación de la presión atmosférica. — *El valor de la presión atmosférica no es el mismo en todos los puntos. Varía de unos puntos a otros, según la altura,* pues cuanto mayor sea la altura de un punto menor será la capa de aire que sobre él gravite y menor la presión atmosférica que soporte. Este hecho permite determinar la diferencia de altura entre dos puntos conociendo la presión atmosférica que existe en cada uno de ellos. Este problema recibe el nombre de *nivelación barométrica.*

La presión atmosférica varía también en un mismo punto con el estado del tiempo, por lo que la presión atmosférica es un dato de gran valor para la previsión del tiempo.

Barómetros. — *Los barómetros son aparatos destinados a medir la presión atmosférica.* Son de dos tipos: de mercurio y metálicos.

Los barómetros de mercurio se basan en el experimento de Torricelli.

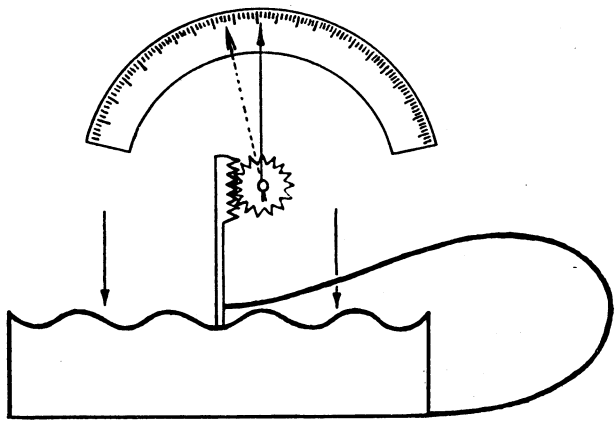
El mismo tubo de Torricelli constituye un barómetro sin más que sujetar el tubo y la cubeta a una tabla vertical, sobre la cual se graba paralelamente al tubo una escala en centímetros, de forma que el cero de la misma quede al nivel del mercurio en la cubeta. Este barómetro ordinario tiene el inconveniente de que al variar la presión, el mercurio entra o sale en el tubo y hace variar el nivel de la cubeta, por lo que debe variarse la posición de la escala a cada lectura. Este inconveniente se evita en el barómetro de Fortin.



Barómetro de Fortin. El fondo de la cubeta es de gamuza.

El barómetro de Fortin tiene la particularidad de que el fondo de la cubeta del mercurio es de gamuza, y puede moverse para conseguir que el nivel del mismo quede a la altura del cero de la escala cada vez que vamos a efectuar una lectura. Esto se consigue mediante un tornillo inferior que actúa sobre el fondo de gamuza, hasta conseguir enrasar el nivel del mercurio con un índice de marfil que está a la misma altura que el cero de la escala. Una vez enrasado el cero, la altura barométrica se lee directamente.

Otro barómetro de uso corriente es *el de escala compensada.* En éste la graduación de la escala no está hecha en centímetros y milímetros, sino de forma que se ha tenido en cuenta la elevación del nivel de la cubeta al descender la altura del mercurio dentro del tubo. De esta manera las lecturas se pueden hacer directamente sin preocuparse de ningún otro detalle.



Mecanismo del barómetro de Vidi.

Entre los barómetros metálicos, el más extendido es el de Vidi. Éste consiste esencialmente en una caja cilíndrica de bases onduladas en cuyo interior se ha hecho el vacío. Para equilibrar la presión atmosférica, que tiende a aproximar las bases de la caja hay un potente resorte. Al aumentar o disminuir la presión, se modifica la distancia entre las bases de la caja, y su movimiento se transmite mediante un juego de palancas a una aguja que recorre una escala. Estos barómetros se gradúan por comparación con los barómetros de mercurio.

Ejercicios

Hágase un gráfico de la distribución de las capas atmosféricas.

Llénese hasta el borde un vaso con agua y colóquese sobre su superficie una hoja de papel, de forma que no quede aire alguno sobre el agua. Inviértase rápidamente suje-

tando el papel con la mano. Obsérvese que el agua no cae. ¿A qué es debido este fenómeno?

Repítase el experimento de Torricelli.

¿A cuántos gramos por centímetro cuadrado equivale la presión atmosférica? ¿Por qué?

Obsérvese detenidamente un barómetro de mercurio, y mídase con él la presión atmosférica.

13. El oxígeno. La combustión

El oxígeno. —*Es el elemento más abundante en la naturaleza. Forma parte del aire,* del que constituye la quinta parte, *y de numerosos compuestos,* como silicatos y carbonatos, que llegan a formar cordilleras enteras. *Forma parte del agua,* y entra en la composición de *todos los tejidos animales y vegetales.*

Se obtiene por descomposición electrolítica del agua acidulada con ácido sulfúrico. También a partir del aire, separándolo de sus demás componentes.

Es un gas incoloro, inodoro e insípido, poco soluble en el agua y muy difícil de liquidar. En estado líquido es de color azul.

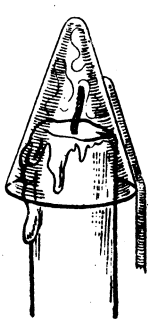
Desde el punto de vista químico es un elemento muy activo; reacciona con numerosos elementos formando cuerpos que reciben el nombre de óxidos. *Se llama oxidación la reacción en que se origina un óxido.*

Se emplea en medicina y en el soplete oxhídrico, donde el hidrógeno arde en atmósfera de oxígeno.

La combustión. Combustibles y comburentes. — *Las oxidaciones son a veces tan enérgicas, que tienen lugar con desprendimiento de calor y luz. En este caso reciben el nombre de combustiones.* Así ocurre con el hidrógeno, que arde con formación de agua; el magnesio, que produce una luz deslumbradora; el carbón y otros.

Reciben el nombre de combustibles los cuerpos capaces de dar lugar a estas oxidaciones violentas o combustiones.

Cuando a un cuerpo en combustión se le priva de aire, como, por ejemplo, cuando se tapa una vela con un apagacirios, la combustión cesa. Por el contrario, para avivar una combustión se le insufla aire. Esto prueba que el oxígeno es indispensable para las combustiones.



Cuando a un cuerpo en combustión se le priva de aire, la combustión cesa en seguida.

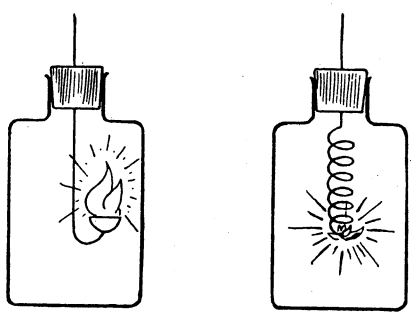
Reciben el nombre de comburentes los cuerpos que no arden, pero que hacen posible la combustión de otros. El oxígeno es el comburente por excelencia.

Hay combustiones extremadamente rápidas debido a que se propagan instantáneamente a toda la masa combustible. Estas combustiones reciben el nombre de *explosiones.*

Se forman mezclas explosivas con el oxígeno o el aire y otro gas combustible como el hidrógeno, el gas del alumbrado o el metano (grisú).

También tiene lugar la combustion con explosión cuando se mezclan dos sólidos pulverizados, uno de los cuales es combustible mientras que el otro es capaz de proporcionar el oxígeno que el primero necesita para su combustión. Esto sucede con la pólvora ordinaria, que está constituída por una mezcla de carbón y azufre (combustibles) con nitrato potásico, que es el cuerpo capaz de suministrar el oxígeno necesario.

Las oxidaciones ordinarias, también llamadas combustiones lentas, no producen manifestaciones energéticas, y la substancia oxidable no se inflama ni se calienta en muchos casos. Oxidaciones de esta clase son la mayoría de las oxidaciones de metales, como el hierro, el cinc y otros.



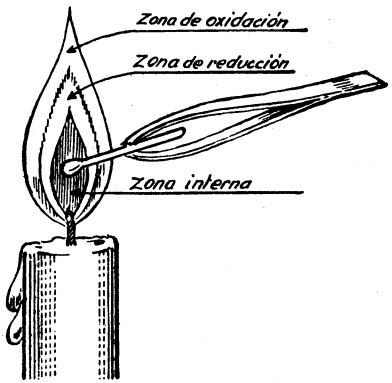
El azufre y el hierro, con un punto de ignición, arden violentamente en atmósfera de oxígeno puro.

Sin embargo, algunas oxidaciones de este tipo pueden acelerarse cuando tienen lugar en atmósfera de oxígeno puro, pues el nitrógeno del aire actúa como moderador de las oxidaciones. Así ocurre si introducimos en un frasco lleno de oxígeno un alambre de hierro en cuyo extremo hemos colocado un trozo de yesca con un punto de ignición. Ésta arde violentamente, propagándose la combustión al hierro, que arde también rápidamente con gran desprendimiento de chispas.

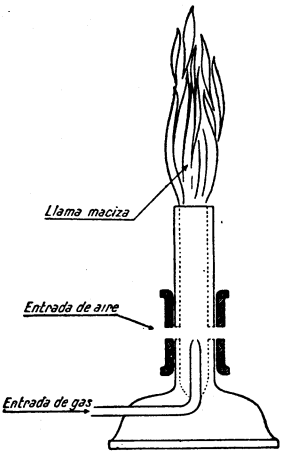
La llama. — *La llama está constituída por un gas en combustión, gracias a la cual se encuentra en incandescencia, desprendiendo luz y calor.*

Esto explica que sólo los gases o los cuerpos gasificables ardan con llama. Así, arden con llama gases como el hidrógeno y el gas del alumbrado; líqui-

dos que se volatilizan por el calor de la propia combustión, como el alcohol, la gasolina, el aceite pesado y otros, y sólidos que también por efecto del calor desarrollado por la misma combustión se descomponen y dan productos gaseosos, como ocurre con la madera y con la mayoría de los carbones. En cambio, la antracita y el coque, que son dos carbones que apenas contienen componentes volátiles, arden poniéndose incandescentes, pero sin desprender llama.



Llama de una vela, con sus tres zonas características.



Llama maciza, sin zona, del mechero de Bunsen.

Observemos la llama de una bujía. Apreciaremos en ella tres zonas de diferente luminosidad. La más interior es muy poco luminosa y muy poco calorífica; podemos introducir en ella la cabeza de una cerilla sin que se inflame.

La zona intermedia es la más luminosa. En ella abundan las partículas de carbón incandescente. Esta zona se denomina *zona de reducción.*

La zona externa es la más calorífica, aunque también es poco luminosa. Se denomina *zona de oxidación.*

La existencia de estas tres zonas se debe a que el gas combustible entra en combustión a partir del centro de la llama, a medida que se pone en contacto con el aire que le rodea. Por eso en la parte más interior no hay oxígeno y la combustión apenas se ha iniciado. En la zona intermedia se ha iniciado la combustión, pero, por no haber aire suficiente, las partículas de carbón están en incandescencia sin terminar de arder. Finalmente, en la zona más externa, donde abunda el oxígeno, la combustión es completa y las partículas carbonosas van consumiéndose, perdiendo la llama luminosidad, pero ganando potencia calorífica.

En la llama de un mechero Bunsen pueden apreciarse las mismas zonas si no se abren los orificios de entrada de aire. Si se hace así, el aire sale ya mezclado con el gas, y la combustión tiene lugar por igual en todos los puntos de la llama, por lo que ésta es una *llama maciza.*

La respiración. — *La respiración de los seres vivos es realmente una combustión lenta que tiene lugar en los mismos, gracias a la cual obtienen la energía vital necesaria.*

Esta función consiste en tomar oxígeno y desprender anhídrido carbónico, que es el producto resultante de la combustión del carbono, o de las substancias que lo contienen.

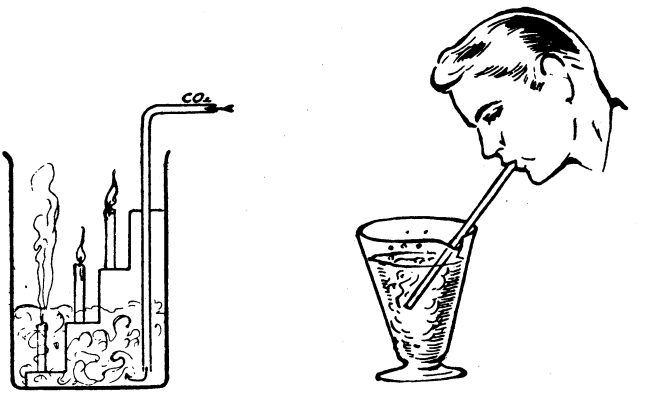
En los animales que respiran por pulmones, el aire entra en ellos a cada inspiración. Allí, filtrándose a través de la membrana finísima que tapiza los alveolos pulmonares, se fija en una substancia que contiene la sangre, llamada hemoglobina, y esta sangre cargada de oxígeno se reparte por todo el organismo. Cuando el oxígeno transportado por la sangre se pone en contacto con los diferentes tejidos, va quemando lentamente determinadas substancias que hay en ellos, procedentes de la asimilación de los alimentos, y el producto de esta combustión, que es anhídrido carbónico y agua, es arrastrado por la sangre, que va nuevamente a los pulmones, donde se verifica el cambio de esos productos de desecho por nuevas cantidades de oxígeno. La sangre así renovada comienza un nuevo ciclo, que se repite continuamente.

Precisamente la intoxicación por el tufo de los braseros (óxido de carbono) se debe a que este gas forma con la hemoglobina un compuesto estable que impide la absorción del oxígeno. De esta forma, el intoxicado se encuentra imposibilitado para hacer uso del oxígeno que llega a sus pulmones cuando respira, y a causa de ello puede sobrevenirle la muerte.

La temperatura de los animales de sangre caliente se mantiene por encima de la temperatura ambiente, a pesar de la radiación constante de calor, precisamente porque la respiración es una fuente de calor que no se agota. Realmente puede afirmarse que cada animal de esta clase lleva dentro una hoguera que le proporciona calor de manera continua.

El anhídrido carbónico. — *El anhídrido carbónico es un gas que se forma en la combustión del carbón con suficiente oxígeno.* Cuando el oxígeno escasea, la combustión del carbón se realiza formándose otro gas, tóxico, llamado vulgarmente tufo de los braseros.

Es más denso que el aire. Es soluble en el agua, con la que forma ácido carbónico; *no es tóxico, pero tampoco sirve para la respiración ni para la combustión.* Basta un 5 por 100 en el aire para que este sea irrespirable. En su seno se apagan los cuerpos que están en combustión. Podemos comprobar esta propiedad poniendo una bujía encendida en el fondo de un vaso ancho, y haciendo llegar a él anhídrido carbónico procedente de un tubo de acero de los que se usan en la industria. Observaremos que cuando el nivel del anhídrido carbónico alcanza la llama ésta se apaga.



Anhídrido carbónico. A la izquierda: al ascender el nivel del gas, van apagándose sucesivamente las tres bujías. A la derecha: el anhídrido carbónico expelido al respirar, enturbia el agua de cal.

Se reconoce porque enturbia el agua de cal cuando se hace burbujear a través de ella.

Puesto que este gas se produce en la combustión de infinidad de combustibles y en la respiración de animales y plantas, parece que la atmósfera debería ir enriqueciéndose de este gas y terminando por ser irrespirable. Esto no sucede gracias a la función clorofílica de las plantas, que consiste precisamente en la absorción de anhídrido carbónico, del que se quedan con el carbono, desprendiendo el oxígeno.

Ejercicios

Obsérvese la combustión de un cuerpo cualquiera, por ejemplo una vela, y compruébese que la combustión cesa cuando se priva de aire al cuerpo que arde.

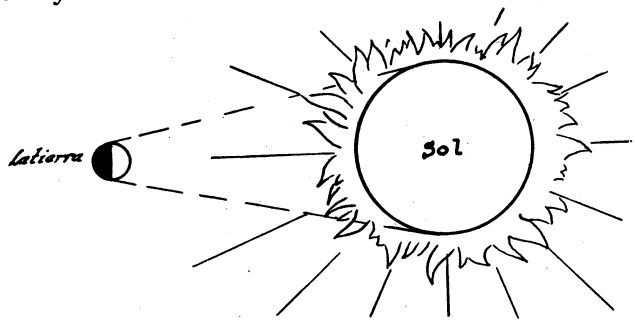
Obsérvense las tres zonas de la llama de una vela. Compruébese que en la más interior y obscura puede introducirse la cabeza de una cerilla y estar algún tiempo sin encenderse. ¿A qué es debido?

Explíquese en qué consiste la respiración de los animales y vegetales.

¿Cuál es el origen del calor que desprenden continuamente los animales de sangre caliente?

Dígase qué es y qué fórmula tiene el anhídrido carbónico.

Compruébese que haciendo burbujear aire procedente de nuestros pulmones a través de una solución de agua de cal, ésta se enturbia. ¿A qué se debe este fenómeno?



El Sol es un cuerpo luminoso, mientras que la Tierra es un cuerpo iluminado.

14. La luz y su propagación

Luz. Cuerpos luminosos o iluminados. — *La luz es una forma de energía* (energía luminosa) *que impresiona nuestro sentido de la vista.*

La ciencia que estudia los fenómenos luminosos recibe el nombre de Óptica.

Cuando por nuestro sentido de la vista percibimos un cuerpo, es porque de él ha partido luz que ha llegado a la retina de nuestros ojos, donde se encuentran los lementos sensibles.

Si en una habitación completamente obscura encendemos una antorcha, podremos ver no sólo la habitación, sino todos los objetos que se encuentran en ella, como mesas, sillas, paredes, etc. Si la apagamos, la habitación vuelve a sumirse en la obscuridad y dejamos de ver todos los objetos.

De todos los cuerpos que vemos hay unos, como la antorcha del ejemplo anterior, el sol y otros, *que emiten la luz que producen ellos mismos.* A éstos se les llama *cuerpos luminosos.*

Hay otros, que son la gran mayoría, *que no producen luz, a los cuales vemos porque transmiten parte de la luz que reciben de otros cuerpos que la producen.* A éstos se les llama *cuerpos iluminados.*

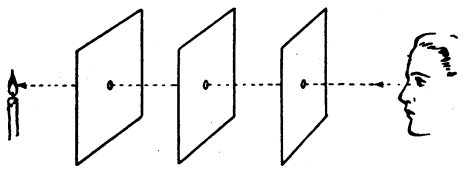
Transmisión de la luz. Cuerpos transparentes, translúcidos y opacos. — Es evidente que la luz se propaga o transmite, puesto que llega hasta nosotros desde los cuerpos donde se produce, algunas veces después de recorrer enormes distancias, como sucede con la luz del sol y de las estrellas.

La luz llega a nosotros a través de un espacio que se llama *medio óptico* o simplemente *medio.*

Con respecto a la luz, los medios ópticos se comportan de muy diferente manera. Reciben el nombre de *medios (o cuerpos) transparentes* los que, como el aire, el agua, el vidrio de ventana y otros, *dejan pasar la luz,* y a su través pueden verse los cuerpos luminosos e iluminados con sus formas y colores.

Se les da el nombre de *translúcidos* a otros cuerpos, como el papel engrasado y el vidrio esmerilado, *que dejan pasar la luz, pero no permiten distinguir a su través la forma y contornos de los objetos.* Finalmente, se da el nombre de *cuerpos opacos* a los que, como los metales, la madera y otros *no dejan pasar la luz.*

En realidad, no hay cuerpos absolutamente opacos ni absolutamente transparentes. Si tomamos una lámina de oro suficientemente delgada y la ponemos frente a una fuente luminosa, observaremos que se deja atravesar por la luz, aunque en pequeña proporción. Por otra parte, la luz siempre pierde intensidad cuando atraviesa un medio transparente. Esto prueba que aun los cuerpos más opacos presentan cierta transparencia y que los cuerpos más transparentes absorben algo de luz.



Solamente se ve la bujía cuando las tres pantallas tienen sus orificios en la línea recta que une la llama con nuestra pupila.

Propagación de la luz. Rayo luminoso. — Coloquemos tres pantallas opacas, dotada cada una de ellas de un pequeño orificio, de forma que éstos se encuentren en línea recta. Pongamos después detrás de la última pantalla un objeto luminoso, de forma que las tres pantallas queden interpuestas entre la luz y nosotros. Podremos comprobar que solamente veremos la luz cuando los tres orificios de las pantallas están en línea recta con el manantial de luz y nuestro ojo se encuentre precisamente en la dirección de esa recta.

Esta experiencia prueba la exactitud de una ley fundamental en Óptica, que es que la luz *se propaga en línea recta* (en los medios homogéneos).

Un faro en una noche obscura puede observarse desde cualquier punto, con la condición de que entre él y nosotros no se interponga ningún cuerpo opaco. Esto prueba además que la luz se transmite en todas direcciones.

Las direcciones en que la luz se propaga a partir de un punto luminoso se llaman rayos luminosos.

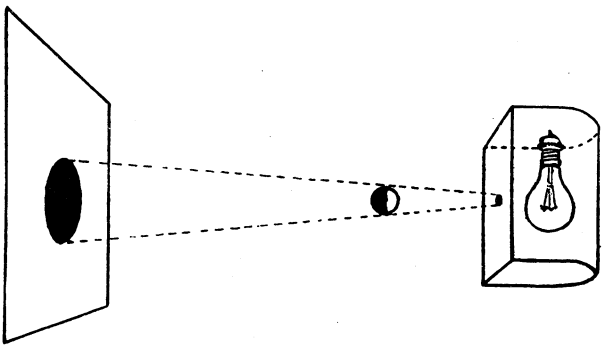
Desde luego, no puede aislarse un rayo luminoso, puesto que éste es solamente una simple dirección geométrica. Podemos, no obstante, limitar la luz que se propaga en el espacio mediante pantallas con orificios muy estrechos. La luz que pasa por ellos se denomina *haz luminoso.*

Sombra y penumbra. — La propagación rectilínea de la luz da lugar a la formación de sombras.

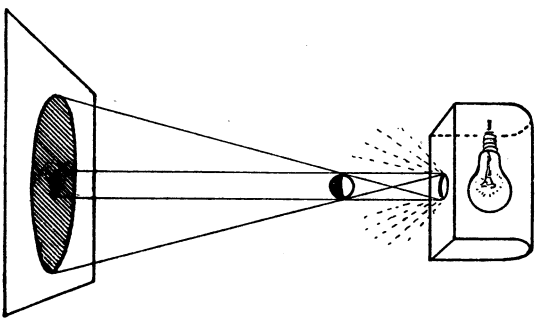
Dispongamos un foco luminoso tan pequeño como sea posible (por ejemplo, colocando dentro de una caja de paredes opacas, con un pequeño orificio,

una lámpara eléctrica) dentro de una habitación obscura. Si entre el foco luminoso y una pantalla situada frente a él colocamos una pequeña esfera metálica, observamos que en la pantalla aparece *una zona carente de luz,* que recibe el nombre de *sombra.*

Esta zona de sombra está formada por todos los puntos de la pantalla, tales que si quisiéramos unirlos con la fuente luminosa mediante una línea recta, tendríamos que hacerlo atravesando el cuerpo opaco.



Arriba: producción de sombra. Abajo: producción de sombra y penumbra.



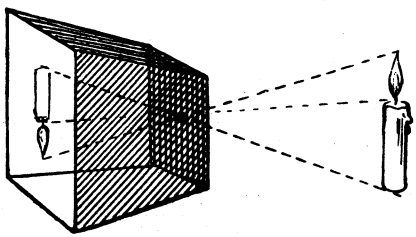
Si el foco luminoso tiene cierta extensión (como sucede si el orificio de la caja en que está encerrada la lámpara se hace de un diámetro de dos o tres centímetros, cubriéndolo con un vidrio esmerilado), observamos que en la pantalla, el paso de la zona de luz a la zona de sombra, no se hace como antes bruscamente, sino pasando por zona intermedia, de claroscuro, llamada *penumbra.*

La explicación de este fenómeno es fácil teniendo en cuenta la propagación rectilínea de la luz. Hay unos puntos de la pantalla que no reciben luz de ningún punto del foco luminoso. Éstos forman la sombra. Otros reciben luz de unos, pero no de otros. Estos puntos quedan parcialmente iluminados y constituyen la penumbra. Finalmente hay otros que reciben luz de todos los puntos de la fuente luminosa. Estos puntos forman la zona de luz.

Cámara obscura. Producción de imágenes.— Otra consecuencia de la propagación rectilínea de la luz es la formación de imágenes en la cámara obscura.

Una cámara obscura se construye tomando una caja de cartón que se forra interiormente de papel negro, practicándose en una de sus caras un orificio de unos dos milímetros de diámetro y substituyendo la cara opuesta por un papel translúcido.

Si frente al orificio de la cámara obscura colocamos un objeto luminoso, por ejemplo, una vela encendida, *veremos su imagen reproducida en la parte posterior, sobre el papel translúcido. Esta imagen resulta ser invertida con relación al objeto, y su tamaño depende de la distancia entre el objeto y la cámara.*



Cámara obscura: producción de imágenes reales e invertidas.

Este fenómeno se explica admitiendo que de cada punto del objeto luminoso parten rayos que se propagan en línea recta, los cuales atraviesan el orificio de la cámara obscura y dejan su imagen sobre el papel situado en la parte posterior de la misma. De esta forma los puntos superiores del objeto aparecen en la parte inferior de la imagen y viceversa.

La cámara fotográfica no es más que una cámara obscura, en cuyo orificio se ha colocado una lente o un sistema de lentes para conseguir mejores imágenes y en la que se ha substituido el papel translúcido por una película sensible. En ella, la imagen formada deja una huella, que puede ponerse de manifiesto después mediante el revelado de la película.

Velocidad de la luz. — La propagación de la luz tiene lugar a tal velocidad, que durante mucho tiempo se creyó que se propagaba instantáneamente.

Sin embargo, ciertas observaciones pusieron de manifiesto que *la luz necesita cierto tiempo para ir de un sitio a otro.*

La primera determinación de la velocidad de la luz fue hecha por el astrónomo dinamarqués Römer, observando las ocultaciones de un satélite del planeta Júpiter en el cono de sombra proyectado por éste (iluminado por el sol). La velocidad encontrada fue de *300.000 kilómetros por segundo.*

Posteriormente se han realizado mediciones por otros procedimientos muy exactos, y siempre se han encontrado valores muy próximos al primeramente hallado, por lo que se admite aquél con un pequeño error.

Ejercicios

Obsérvese la diferencia que existe entre cuerpos luminosos e iluminados. Cítense ejemplos de unos y otros.

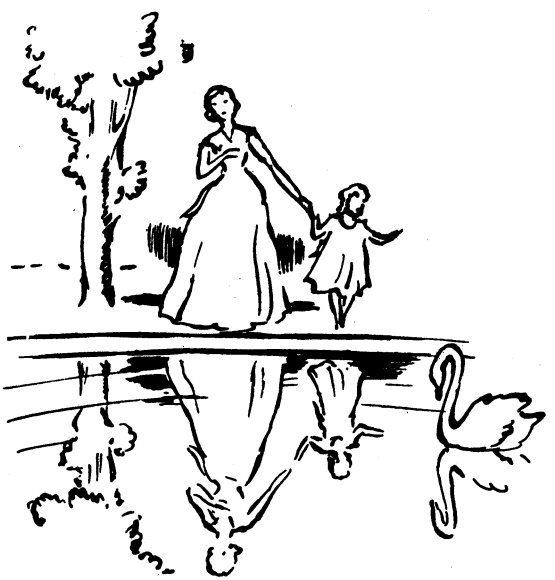
Obsérvese la propagación rectilínea de la luz colocando entre la llama de una vela y nuestro ojo dos pantallas opacas con sendos orificios. Solamente veremos la llama cuando los orificios de la pantalla están en la línea recta que una la llama con nuestro ojo.

Obsérvese la formación de sombras y nótese la diferencia de los bordes de éstas según que la fuente luminosa sea un sólo punto luminoso o tenga cierta extensión. En el primer caso los bordes serán netos y en el segundo la sombra está rodeada de una zona de penumbra.

Constrúyase una cámara obscura con una caja de cartón y un papel translúcido. Obsérvese la formación de imágenes en una cámara obscura.

15. Reflexión de la luz

Reflexión de la luz. — Cuando miramos oblicuamente la superficie tranquila de un estanque o de un lago, vemos reproducido en ella el paisaje situado enfrente de nosotros. El mismo fenómeno se observa sobre la superficie de los metales pulidos, los muebles barnizados, etc.

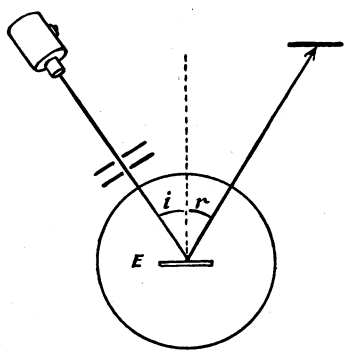


Reflexión sobre la superficie tranquila de un estanque.

En general, cuando la luz llega a la superficie de separación de dos medios, una parte de ella cambia bruscamente de dirección y vuelve sobre el mismo medio de procedencia. *Recibe el nombre de reflexión de la luz el cambio brusco de dirección que sufre al incidir sobre la superficie de separación de dos medios, volviendo sobre el medio de procedencia.*

Cuando un haz de rayos paralelos incide sobre una superficie plana pulimentada, los rayos reflejados siguen siendo paralelos. En cambio, si la superficie reflectora es irregular, como sucede con los cuerpos no pulimentados, al reflejarse los rayos salen en direcciones diferentes y dispersos.

La *reflexión es regular o especular* cuando tiene lugar sobre las superficies lisas y pulimentadas, y es *reflexión difusa* cuando se verifica sobre superficies desiguales y no pulimentadas.



En la reflexión de la luz, el ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

Espejos. — Una superficie pulida cualquiera capaz de reflejar la luz, recibe el nombre de *espejo*. Si esta superficie es plana, recibe el nombre de espejo plano; si por el contrario es una superficie curva, recibe el nombre de espejo curvo, recibiendo el nombre de espejo esférico, parabólico etc., según que dicha superficie sea esférica, parabólica, etc.

Aunque muchas substancias reflejan en mayor o menor proporción la luz que reciben, los cuerpos que mejor la reflejan son los metales y por esta razón se emplean metales para la fabricación de espejos. Casi siempre se construyen los espejos de vidrio recubierto en su superficie por una capa finísima de plata.

Leyes de la reflexión. — Dibujemos sobre una mesa una circunferencia y coloquemos en su centro verticalmente un pequeño espejo. Dirijamos hacia el espejo un haz de rayos procedentes de una linterna, limitándolo mediante dos pantallas que tengan un orificio, colocadas de forma que estos queden

situados sobre un mismo radio de la circunferencia. Recogiendo la luz reflejada sobre una pantalla, podremos dibujar sobre la mesa direcciones de los haces incidente y reflejado, y medir los ángulos que dichos haces forman con la normal trazada al espejo en el punto de incidencia.

Se llama rayo incidente a la dirección de la luz que llega al espejo y rayo reflejado a la dirección de la luz después de chocar con el espejo. Se llama ángulo de incidencia al que forma el rayo incidente con la normal a la superficie reflectora en el punto de incidencia, y ángulo de reflexión al que forma el rayo reflejado con la misma normal.

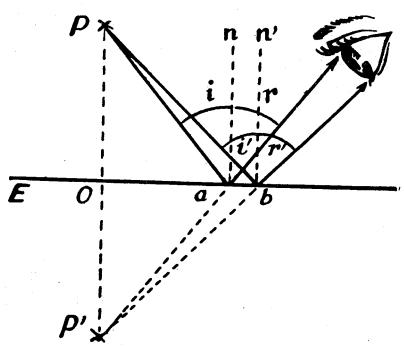
Cualquiera que sean las condiciones de la experiencia, observaremos que se cumplen las siguientes leyes:

Leyes de la reflexión

1. *El rayo incidente, la normal en el punto de incidencia y el rayo reflejado están en un mismo plano.*
2. *El ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son iguales.*

Espejos planos. Imagen de un punto y de un objeto en un espejo plano. — Según hemos dicho anteriormente, un espejo plano es una superficie pulimentada y plana capaz de reflejar la luz. Nosotros representaremos siempre un espejo plano mediante una recta que representará realmente una sección del espejo y para trazar la normal al espejo en un punto, no tendremos más que trazar por él una perpendicular a la recta que representa su sección.

Supongamos un espejo plano y un punto luminoso P situado delante de él. De los infinitos rayos que salgan del punto luminoso y lleguen al espejo, supongamos solamente dos, que inciden en los puntos a y b del mismo. Trazando las normales al espejo en estos puntos, encontraremos los rayos reflejados trazando dos rectas que partiendo de los puntos a y b, formen con las normales a dichos puntos ángulos r y r' iguales respectivamente a los i e i'. Así se cumplirá la segunda ley de la reflexión.

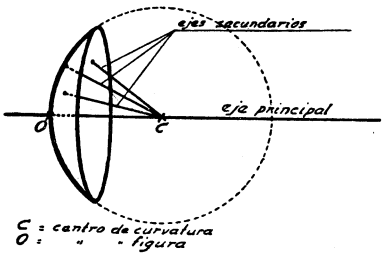


Los espejos planos dan imágenes virtuales y simétricas de los cuerpos luminosos e iluminados.

Si se observan estos rayos reflejados, se comprueba fácilmente que son divergentes y se comprende también examinando la figura que un observador situado en M, recibirá estos rayos como si procediesen del punto P'. Este punto de donde parecen proceder los rayos luminosos que se reflejan en el espejo viniendo de un punto luminoso P, se dice que es la imagen de éste.

El punto P' que hemos llamado ima-

Espejo esférico: centro y ejes.



gen del punto *P, no existe realmente,* aunque el observador de *E lo vea.* Por esta razón esa imagen se dice que es una imagen virtual.

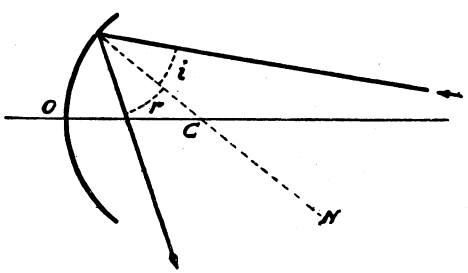
La imagen virtual de un punto es otro punto de donde parecen proceder los rayos procedentes del primero, después de reflejarse.

La imagen virtual de un punto se produce cuando los rayos reflejados salen divergentes y se halla prolongando en sentido contrario al de propagación los rayos reflejados, hasta que se corten. El punto de intersección es la imagen buscada.

Por consideraciones geométricas sencillas se llega a la conclusión de que *la imagen de un punto en un espejo plano es otro punto simétrico de este con relación al espejo* y por tanto puede hallarse simplemente trazando desde el punto luminoso una perpendicular al espejo, y sobre ella tomar una distancia igual a la distancia del punto luminoso al espejo (OP = OP'). El punto así determinado es la imagen buscada.

Cuando no se trata de un punto luminoso sino de un cuerpo cualquiera, no hay más que tener en cuenta que el objeto está formado por un conjunto de puntos y que su imagen se podrá obtener hallando la de cada uno de sus puntos. Cuando se trata concretamente de una línea recta, su imagen se halla buscando tan sólo las de sus puntos extremos, ya que los puntos intermedios producirán también imágenes situadas entre las imágenes de aquellos.

La experiencia confirma que, según se desprende también de lo dicho anteriormente, *los espejos planos producen imágenes virtuales simétricas de los objetos,* es decir, de igual tamaño, situadas detrás del espejo, a igual distancia de éste que el objeto y no superponible con éste, estando objeto e imagen en la misma relación que nuestras manos derecha e izquierda.



Espejos esféricos.— *Se llaman espejos esféricos a los constituídos por la superficie pulimentada de un casquete esférico. Según que la superficie pulimentada sea la interior o la exterior del casquete, el espejo recibe el nombre de cóncavo o convexo.*

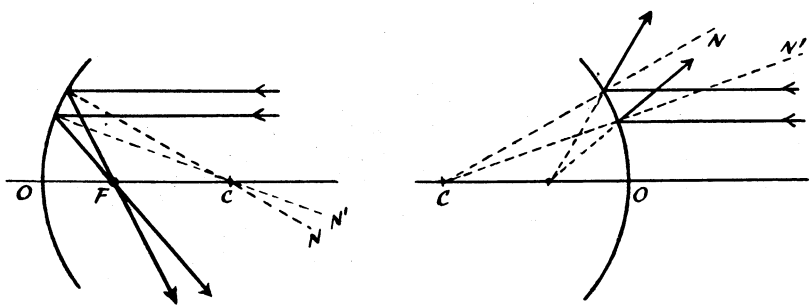
En todos los casos el rayo reflejado forma un ángulo de reflexión (*r*) igual al ángulo de incidencia (*i*).

Se llama *centro de curvatura* al de la esfera a que pertenece el casquete y *centro de figura* al del casquete. La recta que une ambos centros, indefinida en ambos sentidos, recibe el nombre de *eje principal.* Cualquier otra recta que pase por el centro de curvatura y por un punto del espejo recibe el nombre de *eje secundario.*

Los espejos esféricos suelen representarse por una sección del mismo determinada por un plano que pase por su eje principal.

Construcción del rayo reflejado. — Para determinar geométricamente el rayo reflejado en un punto de un espejo esférico, basta trazar la normal al espejo en dicho punto, que será el eje secundario que pase por él, y trazar luego el rayo reflejado de manera que forme un ángulo de reflexión igual al de incidencia.

Foco principal de un espejo esférico. — Supongamos un espejo esférico cóncavo representado por una sección principal del mismo, e imaginemos una serie de rayos paralelos al eje principal que inciden sobre él. Si trazamos con cuidado los rayos reflejados correspondientes siguiendo las normas indicadas,

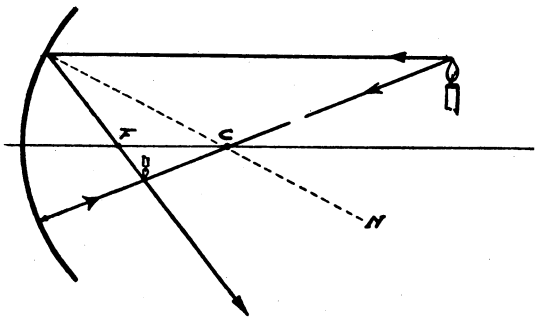


Foco principal de un espejo esférico es un punto (*F*) donde se reúnen todos los rayos que llegan paralelos al eje principal, después de reflejarse, o donde se reúnen sus prolongaciones si los rayos salen divergentes.

observaremos que vienen a coincidir en un punto del eje principal que está aproximadamente en el punto medio del segmento comprendido entre los centros de curvatura y de figura.

Repitamos la construcción con un espejo convexo, representado igualmente por una sección principal del mismo. Observaremos que los rayos reflejados son divergentes, pero sus prolongaciones se reúnen también en un punto del eje principal que se encuentra aproximadamente en el punto medio del segmento determinado por los centros de curvatura y de figura del espejo.

Recibe el nombre de foco principal de un espejo esférico, el punto de su eje principal donde se reúnen los rayos que llegan al espejo paralelos al eje principal, después de reflejarse (espejo cóncavo) o donde se reúnen sus prolongaciones cuando salen divergentes (espejo convexo). En el primer caso el foco es real y en el segundo virtual.



Los espejos cóncavos dan de los objetos situados más allá del foco, imágenes reales e invertidas.

Determinación geométrica de la imagen de un punto. — *La imagen de un punto en un espejo es el punto donde se reúnen los rayos que, partiendo del primero, se reflejan en el espejo (imagen real) o donde se reúnen sus prolongaciones, si al reflejarse salen divergentes (imagen virtual).*

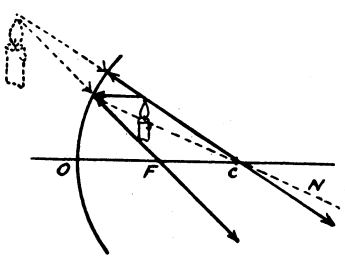
Para determinar la imagen de un punto esté o no en el eje principal, basta con determinar la marcha de dos rayos que partan de el mismo, pues donde se encuentren éstos se encontrarán todos los demás.

De todos los rayos que parten de un punto luminoso y llegan a un espejo esférico, hay dos cuya marcha conocemos bien. Son el rayo que incide paralelo al eje principal, que después de reflejarse pasará por el foco, y el rayo que incide normalmente, es decir, siguiendo la dirección del centro de curvatura, que se reflejará en la misma dirección.

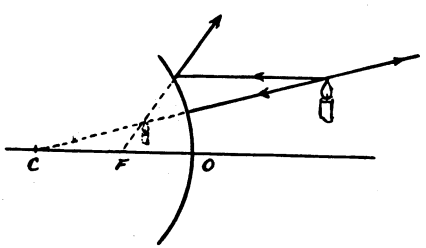
Por tanto, para determinar la imagen de un punto, trazaremos el rayo paralelo al eje principal, que se refleja pasando por el foco, y el rayo que pase por el centro de curvatura, que se refleja en su misma dirección, y donde éstos se encuentren, o donde se encuentren sus prolongaciones, si salen divergentes, allí se encontrará la imagen buscada.

Dicha imagen será real o virtual según esté ormada por la concurrencia de rayos reales o por las prolongaciones de los mismos.

Determinación geométrica de la imagen de un objeto. — Puesto que un objeto luminoso está formado por puntos luminosos, podremos construir su imagen por puntos siguiendo las reglas anteriores, considerando tantos puntos como sean necesarios para la determinación geométrica de la imagen.



Los espejos cóncavos dan de los objetos situados entre el foco y el espejo imágenes virtuales y derechas.



Los espejos convexos dan siempre imágenes virtuales derechas y menores que el objeto.

Generalmente se consideran objetos constituidos por rectas perpendiculares al eje principal. De esta manera la imagen se determina buscando la de los extremos del segmento.

Los espejos esféricos cóncavos dan imágenes reales e invertidas de los objetos que se encuentran más allá del foco, y virtuales y derechas de los que se encuentran entre el foco y el espejo.

Los espejos convexos dan siempre imágenes virtuales, derechas y más pequeñas que el objeto.

Ejercicios

Obsérvese la reflexión de la luz en un espejo. Enúnciense las leyes de la reflexión de la luz.

Obsérvese la formación de imágenes en los espejos planos. ¿Cómo son estas imágenes?

¿Qué es y cómo se representa gráficamente un espejo esférico?

Trácense las normales a diferentes puntos de un espejo esférico.

Dibújese la marcha de los rayos paralelos al eje principal del espejo, señalando la posición de su foco principal.

Hállese la imagen de un punto situado fuera del eje principal en un espejo cóncavo y en un espejo convexo.

Determínese geométricamente las imágenes de diversos objetos, observando en cada caso la clase de imagen que se forma.

16. Refracción de la luz. Lupa y proyector

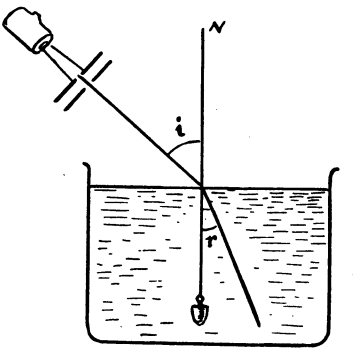
Refracción de la luz. — Tomemos una vasija grande con agua en la que hemos añadido unas gotas de leche para enturbiarla ligeramente. Coloquémosla en una habitación completamente obscura, y dirijamos oblicuamente a su superficie un haz de rayos paralelos procedentes del sol o de una linterna de proyección.

Gracias a las partículas de polvo que siempre se encuentran en el aire podremos conocer el camino de la luz incidente y gracias a las partículas de leche podremos conocer también la marcha de los rayos de luz después de atravesar la superficie de separación entre el aire y el agua.

Sobre el punto de incidencia mantengamos una plomada, que nos indicará la normal en dicho punto, y así podremos medir los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal a la superficie del agua en el punto de incidencia.

Observaremos que la luz cambia de dirección al pasar del aire al agua, acercándose a la normal, aunque sin cambiar de plano de propagación. *Se llama refracción de la luz al cambio brusco de dirección que sufre al incidir*

sobre la superficie de separación de dos medios de diferente densidad, pasando de uno a otro. Se llama ángulo de incidencia al que forma el rayo incidente con la normal a la superficie de separación de los dos medios en el punto de incidencia, y ángulo de refracción al que forma el rayo refractado con la misma normal.



Cuando la luz pasa de un medio menos denso a otro más denso, se desvía acercándose a la normal.

Podemos hacer variar el ángulo de incidencia y observaremos que también cambia el ángulo de refracción, pero siempre se conserva menor que el de incidencia.

Repitiendo el experimento con diferentes líquidos y bajo diferentes ángulos de incidencia, se comprueba que este fenómeno tiene lugar con arreglo a las siguientes leyes:

LEYES DE LA REFRACCIÓN

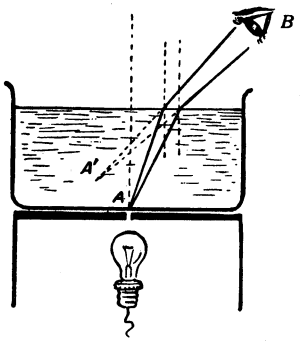
1. *El rayo incidente, la normal en el punto de incidencia y el rayo refractado están en un mismo plano.*

2. *El ángulo de incidencia es diferente del ángulo de refracción, siendo mayor el correspondiente al medio menos denso.*

Esta segunda ley puede enunciarse cuantitativamente, pero en este momento nos basta con este enunciado, que quiere decir que cuando la luz pasa de un medio menos denso a otro más denso se acerca a la normal, y cuando pasa de un medio más denso a otro menos denso se desvía, separándose de la normal.

Imagen de un objeto a través de la superficie plana de separación de dos medios. — El cambio de dirección que sufren los rayos de luz al pasar de un medio a otro, y la circunstancia de que nosotros suponemos situada la fuente luminosa en el punto de donde nos parece que provienen los rayos, hace que muchas veces creamos situadas las fuentes luminosas donde no están realmente.

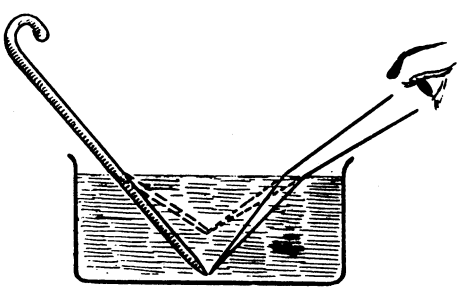
Supongamos un punto luminoso *A* situado dentro del agua. Los rayos luminosos emitidos por este punto al salir del agua se desvían, separándose de la normal, puesto que pasan de un medio más denso a otro menos denso.



Los rayos luminosos procedentes de A se desvían al salir del agua al aire, y el punto luminoso parece situado en A'.

Si estamos situados fuera del agua, en *B*, recibiremos los rayos luminosos como si realmente procedieran de *A'*, y nos parecerá que en este punto es donde está situado el punto luminoso.

Por esta razón los objetos situados en el fondo de una balsa nos parecen menos profundos de lo que realmente están.



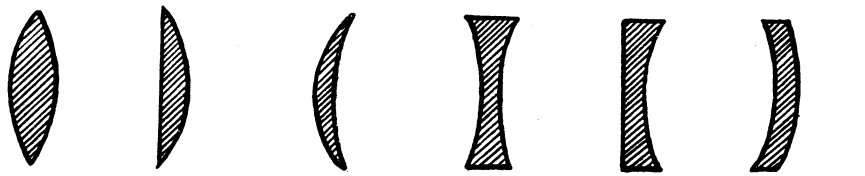
Cuando introducimos un bastón oblicuamente en el agua, nos parece quebrado por la superficie de ésta.

La misma explicación tiene el conocido fenómeno que se observa cuando se introduce oblicuamente un bastón en el agua. Lo vemos quebrado por la superficie del agua, como si la parte sumergida se doblase hacia arriba.

Lentes esféricas. — *Reciben el nombre de lentes los medios transparentes*

limitados por una parte por una superficie curva, y por otra por una superficie curva o por una superficie plana.

Se llaman lentes esféricas aquéllas en que las superficies curvas que las limitan son superficies esféricas.



Lentes convergentes y lentes divergentes

Las lentes se construyen generalmente de vidrio, aunque pueden construirse de cristal de roca o de otras substancias transparentes.

Se dividen en dos grupos, llamadas *convergentes* y *divergentes.*

Las lentes convergentes son más gruesas en el centro que en los bordes, y se llaman así porque los rayos paralelos que las atraviesan tienden a reunirse en un punto.

Las lentes divergentes son más delgadas en el centro que en los bordes, y reciben este nombre porque los rayos paralelos que las atraviesan salen divergentes, reuniéndose sus prolongaciones en un punto.

Cada uno de los grupos mencionados está constituido por tres tipos de lentes. Las convergentes se denominan *biconvexa, planoconvexa* y *cóncavo-convexa.* Las divergentes, *bicóncava, planocóncava* y *convexocóncava.*

En una lente esférica se llama *eje principal* a la línea recta indefinida en ambos sentidos que une los centros de curvatura de sus caras.

Las lentes suelen representarse por secciones principales de las mismas. La sección principal de una lente es una sección producida en ella por un plano que pasa por su eje principal.

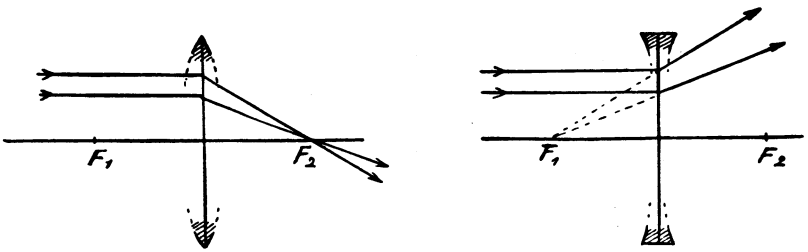
Se llama *centro óptico de la lente* a un punto de ella situado sobre el eje principal que tiene la propiedad de que los rayos que pasan por él no sufren desviación ninguna.

Focos de una lente. — Tomemos una lente convergente de las denominadas lupas, y pongámosla normalmente a la dirección de los rayos solares. Situando detrás de ella una pantalla y moviéndola lentamente, hallaremos por tanteo una posición en la que veremos concentrarse todos los rayos luminosos que la atraviesan en un punto.

Hagamos la misma experiencia empleando una lente divergente. Observaremos que no es posible recoger sobre la pantalla los rayos que la atra-

viesan, ya que éstos salen divergentes. En cambio, sus prolongaciones en sentido contrario al de propagación, se reúnen en un punto.

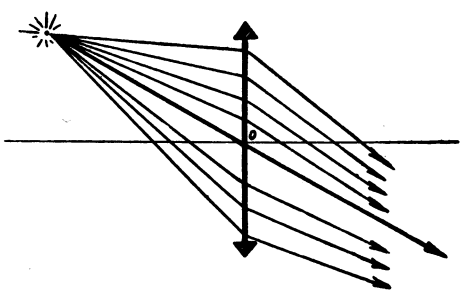
Se denomina *foco de una lente a un punto de su eje principal donde se reúnen todos los rayos que llegan a la lente paralelos al eje principal después de atravesarla, o donde se reúnen sus prolongaciones cuando ellos salen divergentes.* En el primer caso el foco es *real* y en el segundo es *virtual.*



Focos de una lente son los puntos donde se reúnen los rayos que llegan a la lente paralelos al eje principal después de refractarse, o donde se reúnen sus prolongaciones cuando salen divergentes.

Como la luz puede llegar a la lente por cualquiera de sus dos caras, las lentes tienen dos focos principales simétricos, uno a cada lado de ella.

Determinación geométrica de la imagen de un punto. — *La imagen de un punto es otro punto donde se reúnen los rayos luminosos que atraviesan la lente procedentes del primero. Cuando los rayos atraviesan la lente salen divergentes, se reúnen sus prolongaciones en un punto que se denomina también imagen del primero. En el primer caso la imagen es real y en el segundo es virtual.*

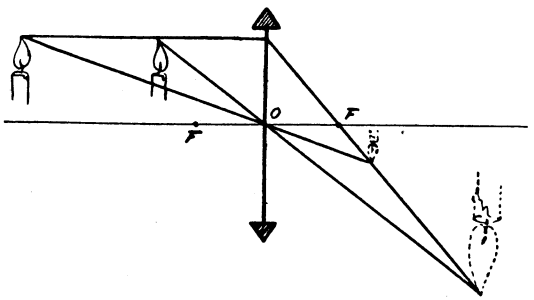


De todos los rayos que atraviesan la lente, solamente el que pasa por el centro óptico no sufre desviación.

Para determinar geométricamente la imagen de un punto, no tenemos necesidad de determinar la marcha de numerosos rayos, sino que basta determinar la marcha de dos de ellos, pues donde se reúnen éstos se reunirán todos los demás.

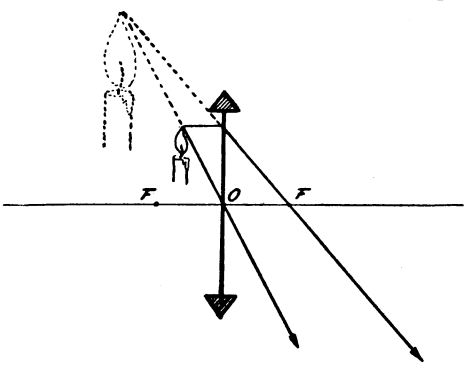
De todos los rayos que parten de un punto luminoso y que llegan a la lente, hay dos cuya marcha podemos determinar fácilmente. Son: el rayo que

pasa por el centro óptico, que, por la propiedad característica de éste, no se desvía, y el rayo que incide paralelo al eje principal, que pasa por el foco después de atravesar la lente. Cuando la lente es divergente, el rayo que incide paralelo al eje principal se desvía de forma que su prolongación pasa por el foco de la lente, situado al mismo lado de ella de donde proceden los rayos.

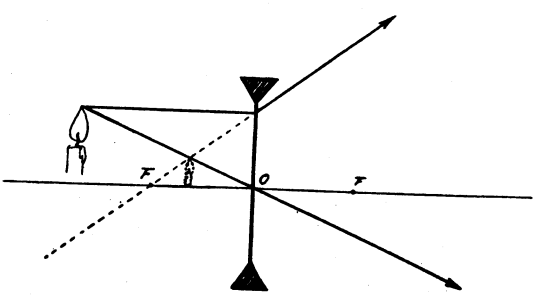


Las lentes convergentes dan de los objetos situados más allá del foco, imágenes reales e invertidas.

Para determinar geométricamente la imagen de un punto en una lente, bastará con trazar a partir de él dos rayos, uno paralelo al eje principal y otro en la dirección del centro óptico de la lente. Donde se reúnan estos rayos después de atravesar la lente, de acuerdo con lo indicado en los párrafos anteriores, o donde se reúnan sus prolongaciones, si salen divergentes, allí estará la imagen que buscamos. En el primer caso se tratará de una imagen real, que podrá recogerse en la pantalla. En el segundo caso se formará una imagen virtual, que no podrá recogerse sobre una pantalla, si bien, colocándonos en la dirección de la marcha de los rayos, podremos verla.

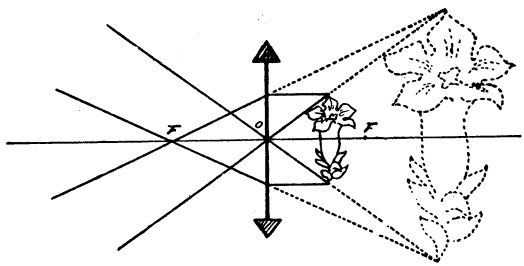


Las lentes convergentes dan de los objetos situados entre el foco y la lente, imágenes virtuales y derechas.



Las lentes divergentes dan de los objetos, imágenes virtuales y derechas.

La imagen de un objeto se determinaría por puntos, hallando la imagen de tantos puntos como fuesen necesarios para determinar su forma y posición.

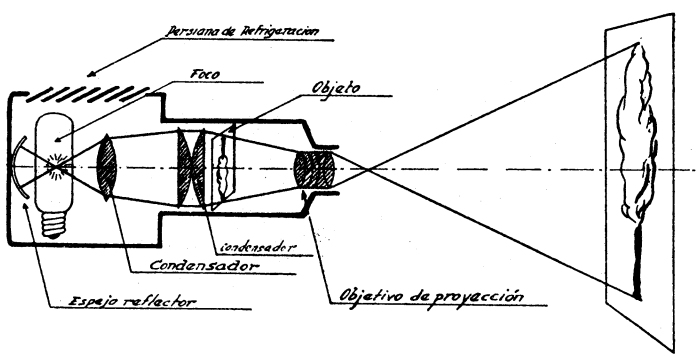


La lupa es una lente convergente.

Lupa. — De todos los aparatos de óptica, el más sencillo es la *lupa. La lupa es una lente convergente,* que suele montarse sobre un anillo metálico unido a un mango.

Para usar la lupa ha de colocarse entre nuestro ojo y el objeto que se quiere observar, procurando que éste se encuentre entre la lente y su foco. Acercándonos o retirándonos encontraremos por tanteo una posición, desde la que veremos la imagen ampliada del objeto.

La marcha de los rayos puede verse en la figura.



Aparato de proyección.

Aparato de proyección. — *Es un aparato destinado a proyectar sobre una pantalla la imagen de una diapositiva, para que pueda ser observada al mismo tiempo por numerosos espectadores.*

Consta de dos sistemas convergentes. Uno denominado ***condensador,*** que sirve para concentrar la luz procedente de un potente manantial luminoso sobre el objeto que quiere proyectarse, colocado sobre un chasis. Otro lla-

mado objetivo da del objeto una imagen real y mayor, que se recibe sobre una pantalla colocada a la distancia conveniente. El objeto debe situarse un poco más allá del foco de la lente.

Ejercicios

Obsérvese la refracción de la luz en el agua, usando el haz luminoso de un aparato de proyección, que se hace incidir en el agua contenida en un cristalizador, a la que previamente se le ha añadido unas gotas de leche para enturbiarla.

Enúnciense las leyes de la refracción.

Obsérvese cómo introduciendo un bastón en un estanque parece que se quiebre por la misma superficie del agua. ¿A qué se debe este fenómeno?

¿Qué son lentes esféricas y cuáles son sus elementos esenciales?

Obsérvese cómo una lente convergente reúne en un punto los rayos solares.

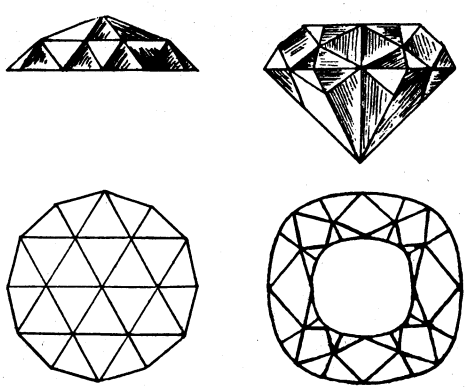
Determínese geométricamente la imagen de puntos y de objetos en lentes convergentes y divergentes y dígase qué clase de imagen se forma en cada caso.

Apréndase a usar la lupa, y obsérvese que las imágenes que se ven con ella son virtuales y mayores que el objeto.

17. El carbono y los carbones

El carbono. — *El carbono es un elemento muy abundante en la naturaleza, tanto libre como combinado con otros elementos.* Su símbolo es C.

Las combinaciones del carbono son tan numerosas, que los componentes del carbono forman un capítulo especial en la química, llamada química del carbono o química orgánica.



Los diamantes son carbono puro cristalizado.

En estado libre se encuentra también abundante, algunas veces puro, constituyendo el diamante o el grafito, y otras muchas impurificado por diversas substancias, constituyendo los carbones naturales (antracita, hulla, etc.) *y artificiales* (carbón vegetal, negro animal, etc.).

Forma parte de todos los tejidos vegetales y animales; queda, por esta razón, como residuo en la combustión incompleta de los mismos.

Estados alotrópicos del carbono. — El carbono es uno de los elementos que pueden presentarse en la naturaleza bajo dos formas cristalinas diferentes. Este fenómeno recibe el nombre de *alotropía* y las formas diferentes bajo las que se presenta un elemento reciben el nombre de formas alotrópicas.

El carbono se conoce bajo dos formas alotrópicas: el diamante y el grafito.

El diamante. — *El diamante es carbono puro cristalizado.* Se presenta generalmente en forma de cubos u octaedros más o menos grandes, cuyas aristas suelen ser curvas.

Sus yacimientos más importantes se encuentran en los Urales, Brasil, India y África del Sur.

Es transparente e incoloro. Es extremadamente duro y raya a todos los demás cuerpos. En cambio, es frágil y se rompe fácilmente por golpe. *La propiedad que le hace más apreciable es su elevado índice de refracción,* debido al cual, una vez tallado, los rayos luminosos que penetran en él se descomponen y quiebran, de forma que presenta reflejos muy intensos y vistosos.

El diamante es muy resistente a los agentes químicos. En el oxígeno arde a elevada temperatura sin dejar ningún residuo.

Su aplicación más importante es en joyería, para cuyo uso los diamantes se tallan de forma que presenten gran número de caras para realzar su refrangibilidad. Las dos formas más corrientes de talla son el diamante rosa y el brillante.

Existen algunos diamantes célebres en el mundo por su tamaño y belleza; entre otros, el Gran Mogol, que pesa unos 56 gramos, y el Koh-i-noor y Orloff, cuyos pesos son aproximadamente de unos 38 gramos.

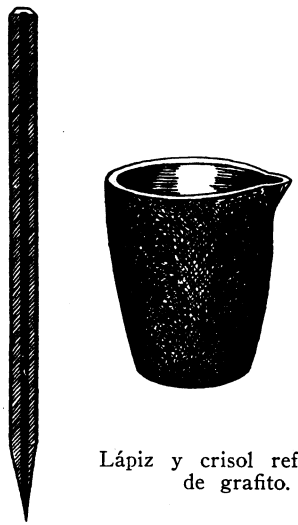
Los diamantes impuros que no tienen aplicación en joyería se emplean, por su dureza, para cortar vidrio y en las máquinas de perforar y su polvo para pulir otros diamantes.

El grafito. — *Es carbono casi puro y cristalizado. Su color es gris o negro, de brillo metálico, blando y untuoso al tacto.* Sobre el papel deja un trazo obscuro y tizna los dedos. Conduce bien la electricidad.

Resiste bien a los agentes químicos, aunque menos que el diamante. Aun en atmósfera de oxígeno y a elevada temperatura arde muy difícilmente, dejando algún residuo.

No siendo suficiente el que ofrece la naturaleza para atender a todas sus aplicaciones, se obtiene artificialmente.

Se usa para la fabricación de lápices y de crisoles refractarios. Se usa también para fabricar pinturas con las que se recubren los metales, para protegerlos de la oxidación, y como conductor eléctrico.



Lápiz y crisol refractario de grafito.

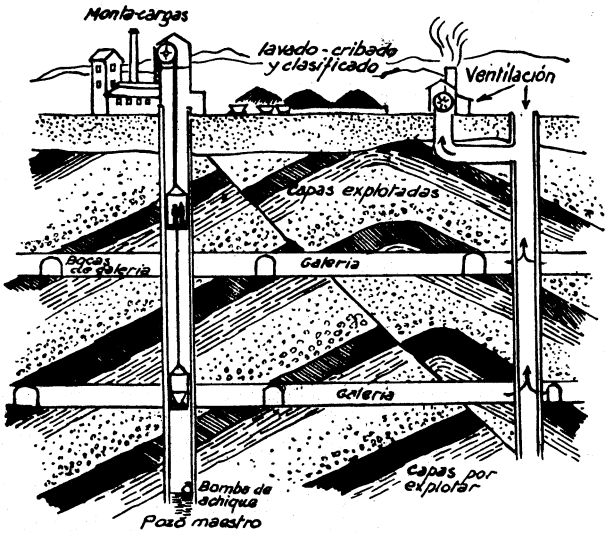
El carbono amorfo.— Además de las dos variedades cristalizadas de carbono que acabamos de estudiar, este elemento se presenta en estado amorfo bajo diversas formas, que van desde la antracita hasta el hollín.

Todas estas formas de carbono, más o menos puro, presentan una serie de propiedades comunes, como las de ser inodoro e insípido, no fundir ni volatilizarse sino a elevadísimas temperaturas, y poseer la capacidad de combinarse con numerosos elementos, especialmente con el oxígeno, ardiendo en el aire con formación de anhídrido carbónico.

Las numerosas variedades de carbono amorfo se dividen en dos grupos denominados carbones naturales y carbones artificiales. Los primeros se presentan en la naturaleza y los segundos son fabricados por el hombre.

Carbones naturales.— *Este grupo comprende la antracita, la hulla, el lignito y la turba.*

Todos ellos proceden de vegetales que quedaron sepultados por diferentes causas. Éstos, en ausencia de aire, sufrieron una descomposición lenta, por la cual fueron desprendiéndose los elementos volátiles y quedando el carbono. Son, por consiguiente, más ricos en carbono cuanto más antiguo es su origen.



Corte de una mina de carbón mineral.

La antracita es el carbón más antiguo y más rico en carbono. Contiene hasta el 98 por 100 de carbono. Forma masas compactas y duras, de color negro brillante. Arde con poca llama, por carecer de productos volátiles, pero con gran desprendimiento de calor.

La hulla es de formación más moderna y tiene menos riqueza en carbono que la antracita. Es también negra y brillante, y tiene estructura hojosa. *Industrialmente se distinguen dos tipos de hullas: las secas o magras y las grasas.* Las primeras arden con más dificultad y las segundas lo hacen con llama abundante, siendo las usadas para la fabricación del gas del alumbrado.

El lignito es negro o parduzco, con menor riqueza en carbono que los anteriores. Arde desprendiendo también menos calor y produciendo abundante humo de olor desagradable.

La turba es el carbón de formación más reciente. Es de color pardo y esponjosa. Arde dando poco calor y desprendiendo humos muy abundantes y de mal olor.

Los carbones artificiales. — Este grupo comprende varias clases de carbón, de las cuales las más importantes son: *el coque, el negro de humo, el carbón de madera y el negro animal.*

El coque es el residuo de la destilación seca de la hulla.

La *destilación seca de la hulla* se realiza encerrándola en retortas, calentadas exteriormente. A elevada temperatura sufre una descomposición (destilación seca), como resultado de la cual se desprenden una serie de gases

combustibles que, después de lavados y purificados, constituyen el gas del alumbrado. En las retortas queda como residuo un carbón esponjoso, de color gris, que se conoce con el nombre de coque. Se emplea como combustible, y, en metalurgia, para la obtención de ciertos metales.

El negro de humo se obtiene por combustión incompleta de substancias muy ricas en carbón, como resinas y otras. Se recoge sobre la superficie de unos cilindros enfriados interiormente que giran lentamente sobre las llamas, mientras unas cuchillas que rozan la superficie de los cilindros van separando el hollín a medida que se forma. Se emplea en la fabricación de tinta china y de imprimir.

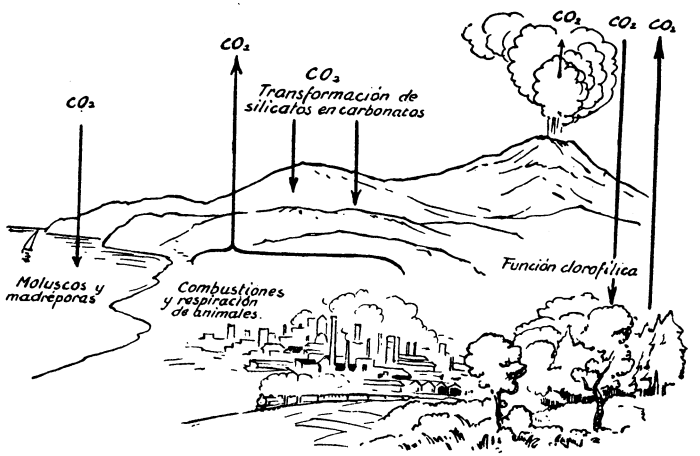
Carboneras para la obtención de carbón vegetal.

El carbón de madera se obtiene por destilación seca de la madera. Modernamente se practica de forma análoga a la de la hulla, obteniéndose también un gas combustible, llamado gas de madera, y quedando un residuo constituído por el carbón de madera.

Antiguamente y aun hoy, en instalaciones donde sólo interesa recoger el carbón de madera, se obtiene por el método de las *carboneras*. Para ello se corta la madera en trozos y se apila en montones troncocónicos que se recubren de césped y tierra, dejando solamente un hueco central que hace de chimenea y varios orificios laterales que permiten el acceso de aire hasta la chimenea central. Se enciende luego la pila de madera o carbonera, y cuando se saca una muestra y se ve que la combustión está bastante avanzada, se tapan los agujeros de entrada de aire, con lo cual la combustión cesa y el carbón se va enfriando lentamente.

Este carbón es un producto negro y ligero que arde fácilmente. Se emplea como combustible y tiene la propiedad de retener grandes cantidades de gases, por lo que se emplea en las máscaras contra gases y para decolorar y desodorizar líquidos, filtrándolos a través de una capa de carbón de madera finamente dividido.

Finalmente, *el negro animal* es un carbón que resulta de la destilación



Combinaciones del carbono

seca de substancias animales, como huesos, sangre y carne en vasijas apropiadas. Lavado y pulverizado después, presenta la misma propiedad decolorante y desodorizante (adsorción) que hemos señalado al carbón de madera, aunque en mayor grado, empleándose especialmente para ese fin.

Ejercicios

¿Qué son estados alotrópicos y cuáles son los estados alotrópicos del carbono?

¿Qué diferencia hay entre el diamante y el grafito?

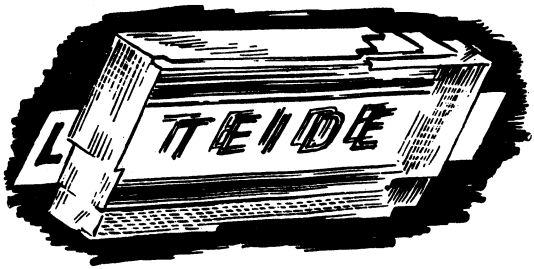
Cítense las clases de carbones artificiales más importantes y díganse las diferencias de unos y otros.

Compruébese la acción decolorante del negro animal, decolorando una cantidad de vinagre o de una solución de azul de metileno. ¿A qué se debe esta acción decolorante?

18. La caliza, la cal y el yeso. Materiales de construcción

La caliza. — *La caliza se denomina técnicamente carbonato cálcico. Es un compuesto de carbono, oxígeno y calcio, cuya fórmula es* CO_3Ca.

Se encuentra muy abundante en la naturaleza, bajo diversas formas, como el espato de Islandia y el aragonito, el mármol, la creta y *especialmente bajo la forma de piedra caliza,* que es sumamente abundante, pues forma monta-

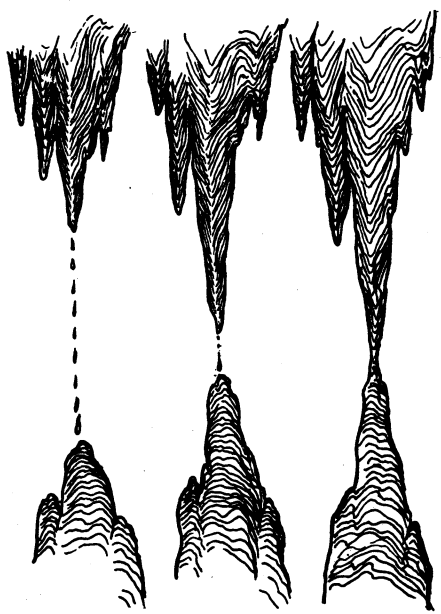


Cristales de carbonato cálcico.

ñas enteras. En España hay yacimientos importantes en Zaragoza, Valencia y Córdoba.

Es insoluble en agua. Sin embargo, cuando el agua lleva en disolución anhídrido carbónico, que es el gas que resulta de la combustión del carbono, *puede disolverse la caliza, porque se forma otro compuesto llamado bicarbonato cálcico, que es soluble.* Este agua que contiene disuelto el bicarbonato cálcico, puesta en contacto con la atmósfera, pierde lentamente el anhídrido carbónico y la caliza queda nuevamente insoluble, depositándose.

Este hecho tiene gran importancia, pues ha sido la causa de la formación de las estalactitas y estalagmitas que adornan las grutas, especialmente las bellísimas de Artá y Manacor, en nuestras islas Baleares.



Formación de estalactitas y estalagmitas: las aguas cargadas de anhídrido carbónico arrastran cantidades de carbonato, los cuales se depositan y forman bellas columnatas subterráneas.

En efecto, las aguas que discurren por la superficie de la tierra disuelven el anhídrido carbónico que se desprende en determinadas regiones. Las aguas cargadas de anhídrido carbónico se filtran por grietas del terreno, llegando incluso a capas profundas (aguas subterráneas), disolviendo grandes cantidades de carbonatos, que quedan en disolución bajo la forma de bicarbonatos. Cuando estas aguas se ponen nuevamente en contacto con la atmósfera, pierden el anhídrido carbónico, y el carbonato de cal insolubilizado se deposita. Si el agua va goteando lentamente, el carbonato cálcico va formando un depósito que crece lentamente, formando las estalactitas y las estalagmitas.

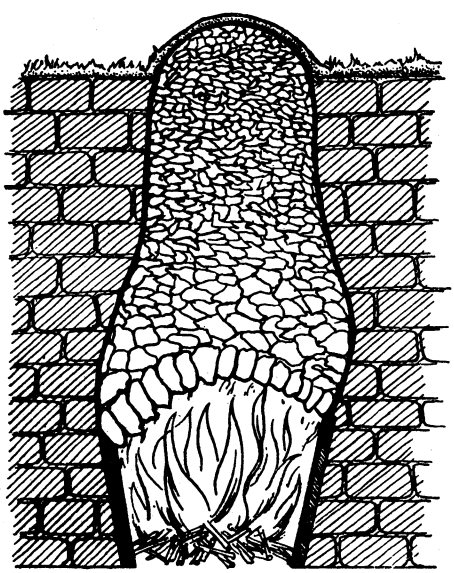
Si ponemos en un tubo de ensayo un trocito de mármol y vertemos sobre él unas gotas de ácido clorhídrico (sal fumante), se nota que el ácido ataca al mármol, desprendiendo un gas, que resulta ser el anhídrido carbónico. El mismo resultado obtendríamos con cualquier otro ácido.

La caliza es atacada por los ácidos, desprendiendo anhídrido carbónico.

Si se calienta fuertemente un trozo de mármol colocándolo en un crisol de tierra refractaria, después de algún tiempo se observa que el mármol se ha convertido en otro cuerpo de propiedades diferentes, al mismo tiempo que se ha desprendido un gas, que también resulta ser anhídrido carbónico. El cuerpo que queda como residuo es el óxido de calcio o cal viva.

La caliza se descompone a elevada temperatura, desprendiendo anhídrido carbónico y dejando un residuo de cal viva.

La cal. — *Técnicamente se denomina óxido cálcico, y su fórmula es CaO. Es un cuerpo sólido de color blanco. Se obtiene por descomposición de la caliza.* Para ello, industrialmente, la caliza se coloca en hornos especiales de gran capacidad, donde se calienta mediante un fuego que se prende en su parte inferior. Al cabo de veinticuatro horas o más, la transformación ha terminado, y dejando enfriar el horno, se descarga extrayendo la *cal viva.*



La cal se obtiene calentando a elevada temperatura la caliza en hornos apropiados.

Pongamos unos trozos de cal viva sobre un plato y vertamos agua sobre ella. Observaremos que la cal se hincha y se resquebraja, con gran desarrollo de calor, quedando poco a poco convertida en otro cuerpo pulvurulento, que es la *cal apagada* o, técnicamente, el hidróxido de cal.

La cal viva reacciona con el agua dando lugar al hidróxido de calcio o cal apagada.

Si a la cal apagada se agrega más agua, se obtiene una papilla más o menos clara que se conoce con el nombre de *lechada de cal.*

La lechada de cal se emplea para encalar paredes, pues al secarse forma una costra dura y blanca que queda adherida a la pared. Este endurecimiento se debe a que el hidróxido de cal va reaccionando lentamente con el anhídrido carbónico que siempre se encuentra en la atmósfera y produce otra vez carbonato de cal o caliza.

Tiene numerosas aplicaciones en la industria y en la agricultura como enmienda de algunos terrenos, pero se aplica especialmente como material de construcción.

Cristal típico de yeso (punta de lanza).

El yeso. — Otro compuesto de calcio importante es *el yeso, que técnicamente se denomina sulfato cálcico, teniendo por fórmula* SO_4Ca.

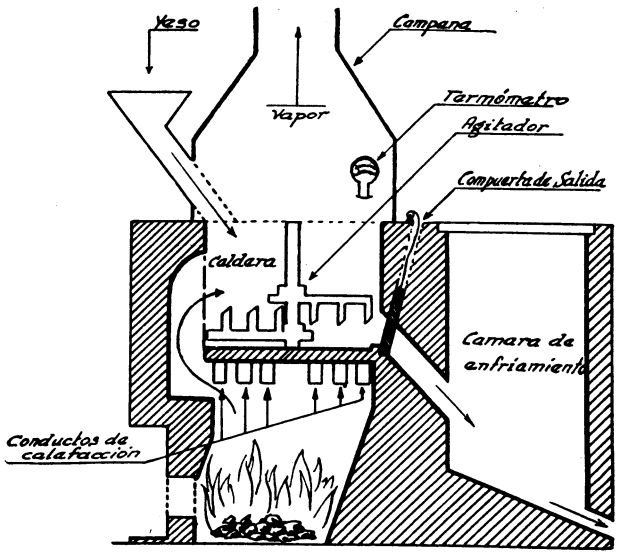
Se encuentra en la naturaleza cristalizado, formando el mineral conocido con el nombre de espejuelo de asno, y maclas muy típicas en punta de flecha.

Los cristales de sulfato cálcico contienen agua (dos moléculas de agua por cada molécula de sulfato), sin la cual este cuerpo no puede cristalizar. Este agua recibe el nombre de agua de cristalización.

Si se calienta un trozo de yeso cristalizado sin que su temperatura pase de los 150 grados, pierde en parte su agua de cristalización y se convierte en un polvo blanco que se conoce con el nombre de *yeso cocido.* Si este polvo se mezcla con un poco de agua, se observa que se endurece. Este fenómeno se conoce con el nombre de fraguado.

Si al calentar el yeso cristalizado lo hacemos por encima de los 150 grados, pierde totalmente el agua de cristalización y entonces no tiene la facultad de fraguar, denominándose *yeso muerto.*

El yeso cristalizado pierde a 150 grados parte de su agua de cristalización, convirtiéndose en un polvo blanco que tiene la propiedad de fraguar (endurecer) cuando se le añade un poco de agua. Por encima de los 150 gra-



Horno para la cocción del yeso.

dos pierde totalmente el agua de cristalización y se convierte en yeso muerto, que no fragua.

Industrialmente, el yeso cristalizado se convierte en yeso cocido en hornos de gran capacidad, donde se somete a calefacción prolongada, sin sobrepasar la temperatura de 150 grados, y el yeso cocido se emplea como material de construcción.

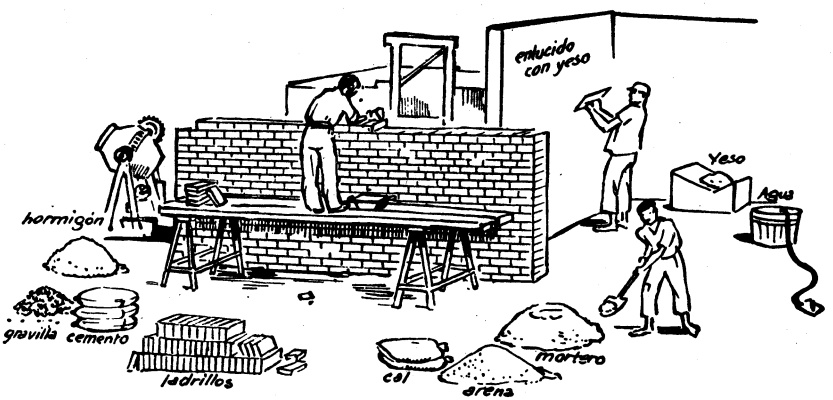
Materiales de construcción. — Todos los cuerpos estudiados anteriormente tienen su principal aplicación como materiales de construcción.

La *piedra caliza* se usa en trozos irregulares o en bloques tallados para la construcción de muros, uniéndolos con materiales apropiados.

El *mármol* se obtiene en grandes bloques, que se sierran después formándo tablas. Éstas tienen muchas aplicaciones, para revestir suelos y paredes y como material de ornamentación.

La *cal viva* se emplea en grandes cantidades. Apagándola previamente y amasada con arena constituye el mortero. Éste sirve para unir piedras y ladrillos en construcción. El mortero tiene la propiedad de fraguar o endurecer debido a que, al mismo tiempo que va perdiendo agua y secando, reacciona lentamente con el anhídrido carbónico del aire y la cal se transforma en caliza, dura y resistente.

Cuando la cal procede de la calcinación de calizas que contienen del 10 al 30 por 100 de arcilla, resultan las *cales hidráulicas,* que fraguan rápidamente en contacto con el agua.



Empleo de los diferentes materiales de construcción.

Si la proporción de arcilla sobrepasa el 30 por 100, por calcinación se obtienen masas duras (clinca) que pulverizadas después constituyen el *cemento*. El cemento fragua rápidamente, y mezclado con guijarros constituye el hormigón, y si está trabado con varillas de hierro, forma lo que se conoce con el nombre de hormigón armado, tan empleado en construcciones.

Finalmente, el *yeso* se emplea también como material de construcción gracias a la propiedad del yeso cocido de fraguar. Este fenómeno se debe solamente a que al recuperar el yeso el agua que había perdido al cocerse cristaliza, y los cristales pequeñísimos que se forman se entrecruzan y traban formando una masa dura y resistente. Se usa para pegar piedras y ladrillos y para revocar paredes.

Ejercicios

¿Qué es y qué formula tiene la caliza? Cítense sus propiedades principales.

¿Cuál es el origen de las estalactitas y de las estalagmitas?

¿Qué es y qué fórmula tiene la cal viva? Cítense sus propiedades principales.

Obsérvese lo que sucede cuando se añade agua a un trozo de cal viva. Explíquese el fenómeno observado.

¿Qué es y qué fórmula tiene el yeso o sulfato cálcico? Cítense sus propiedades más importantes.

Amásese con agua un poco de yeso cocido. Obsérvese que se endurece en pocos minutos (fraguado). ¿A qué se debe este fenómeno?

Caliéntese fuertemente un poco de yeso cocido en un crisol de porcelana. Amásese después con un poco de agua y obsérvese que ahora no fragua. ¿A qué se debe este fenómeno?

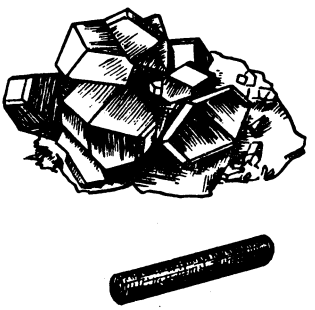
¿Cómo se forma la masa que en construcción se denomina mortero? ¿Por qué fragua el mortero?

¿Cuál es la diferencia esencial que hay entre la cal viva, la cal hidráulica y la clinca que pulverizada constituye el cemento?

19. El azufre y el fósforo

El azufre. — El azufre es un elemento conocido desde muy antiguo. *Se encuentra libre en grandes cantidades en terrenos volcánicos* como Sicilia y Luisiana. En España se encuentran yacimientos en Murcia y Almería. *Su símbolo es S.*

Se encuentra también combinado con otros elementos, formando numerosos compuestos, entre los que destacan por su importancia el sulfato cálcico o yeso y el sulfuro de hierro o pirita. El primero usado como material de construcción y el segundo de gran importancia como materia prima para la extracción del hierro.

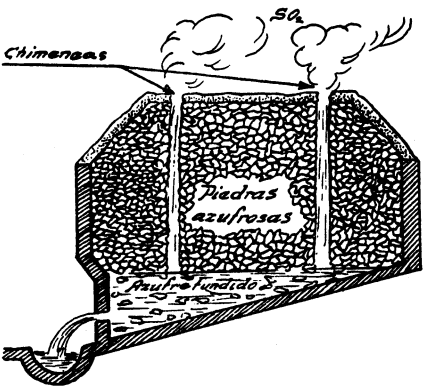


Azufre cristalizado y azufre "cañón".

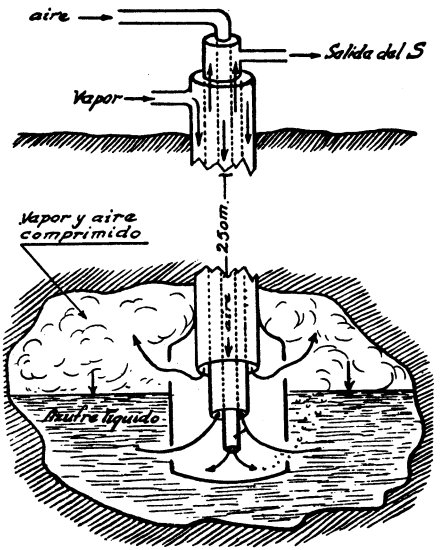
Forma también parte de algunos tejidos orgánicos.

Extracción. — Para su extracción se siguen diferentes procedimientos. *En Sicilia, donde escasea el combustible, se sigue el procedimiento de los calcaroni.* Consiste este procedimiento en hacer con las tierras azufrosas grandes montones sobre un terreno en declive, dejando chimeneas interiores como en la obtención del carbón de madera por el método de las carboneras. Prendiendo fuego en el interior, una parte del azufre arde y el calor desarrollado sirve para fundir el resto, que escurre y se recoge en un depósito. Con este procedimiento se pierde una tercera parte del azufre.

En América, donde el azufre se encuentra en capas profundas de la tierra, se extrae introduciendo hasta ellas tres tubos concéntricos, por dos de los cuales se inyecta vapor de agua sobrecalentado y aire a presión. El azufre funde y en estado líquido sale por el tercer tubo, que lo conduce hasta un depósito.



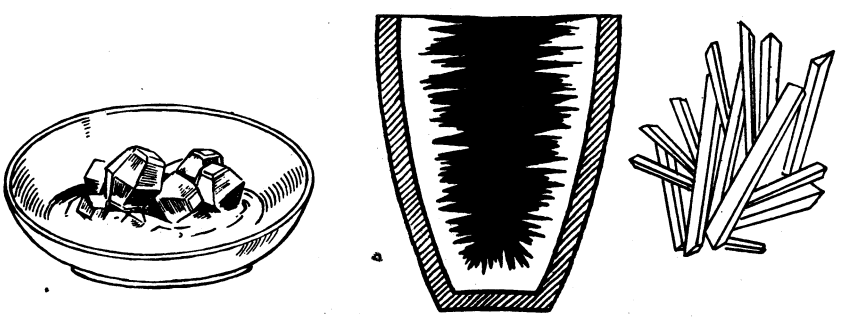
En Sicilia el azufre se obtiene por el procedimiento de los calcaroni.



En Luisiana el azufre se obtiene por medio de vapor sobrecalentado y aire comprimido.

El azufre obtenido por los procedimientos anteriores no es puro. *Para purificarlo se somete a destilación en unas cámaras calentadas exteriomente que comunican con un depósito, donde se condensan los vapores de azufre.* Si el depósito está muy frío, se condensan rápidamente y el azufre pasa al estado sólido, obteniéndose la variedad industrial en polvo denominada *flor de azufre.* En caso contrario, el azufre permanece en estado líquido, reuniéndose en la parte inferior del depósito, de donde se saca para llevarlo a unos moldes donde solidifica, y se obtiene la variedad llamada *azufre cañón.*

Variedades alotrópicas. — El azufre se presenta en varias formas alotrópicas, de las cuales las más importantes son el azufre rómbico y el monoclínico.



El azufre monoclínico se obtiene cuando se deja enfriar el azufre fundido, y el rómbico, evaporando una disolución de azufre en sulfuro de carbono.

El azufre monoclínico se obtiene cuando se deja enfriar el azufre fundido. Tomemos un poco de azufre y calentémoslo en un crisol hasta fundirlo. Dejémoslo enfriar y formará en su superficie una costra. Rompámosla, vertamos el azufre que todavía se encuentra fundido en el interior y podremos observar las paredes del crisol tapizadas de cristales de azufre del sistema monoclínico.

El azufre rómbico se obtiene cuando se disuelve en sulfuro de carbono y se deja evaporar el disolvente. Se obtienen así pequeños cristales octaédricos del sistema rómbico.

También los cristales de azufre monoclínico se transforman lentamente en azufre rómbico sin más que dejarlos a temperatura ordinaria tiempo suficiente.

Propiedades físicas y químicas. — El azufre es un cuerpo sólido que funde a 114 grados. *Es de color amarillo pálido, inodoro e insípido.* Es insoluble en agua y *se disuelve bien en sulfuro de carbono.* Es mal conductor del calor y de la electricidad y frotándolo con un paño de lana se electriza negativamente.

Arde en el aire combinándose con el oxígeno y produciendo un gas, de olor picante, que hace toser, llamado anhídrido sulfuroso. Se combina con los metales dando sulfuros.

Aplicaciones. — El azufre se emplea para la preparación de numerosos compuestos, especialmente para la obtención del ácido sulfúrico. La agricultura lo emplea en la variedad flor de azufre para combatir cierta enfermedad de la vid. En medicina se emplea para combatir enfermedades de la piel, en forma de pomadas. Finalmente, entra en la constitución de la pólvora ordinaria.

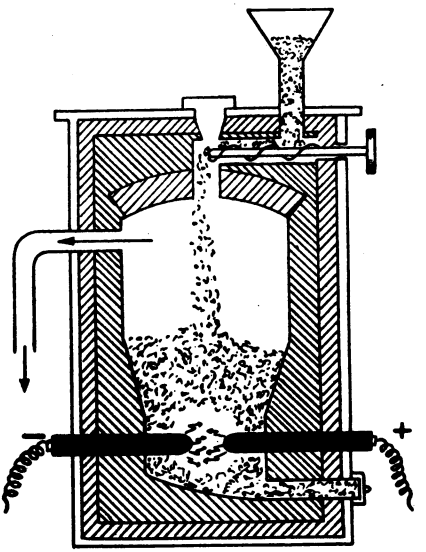
El fósforo. — *Este elemento no se encuentra libre en la naturaleza,* pues debido a la facilidad con que reaciona con muchos otros elementos, de encontrarse libre reacionaría fácilmente y daría lugar a compuestos.

Se encuentra combinado formando algunos minerales, entre los que destaca por su importancia la *fosforita.*

Se encuentra en algunos vegetales, principalmente en las semillas, y se encuentra también en los tejidos animales, especialmente en los huesos.

Obtención. — Puesto que este elemento no lo proporciona libre la naturaleza como ocurre con el azufre, hay que obtenerlo a partir de sus compuestos.

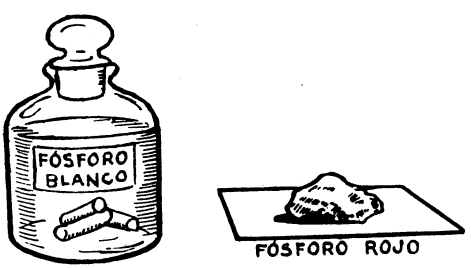
Se obtiene industrialmente a partir de la fosforita natural o de la harina de huesos. Para ello se introduce el mineral juntamente con arena y carbón en hornos eléctricos, donde se somete a elevadísimas temperaturas. De esta forma el fósforo se obtiene en estado de vapor y se condensa después sobre agua.



El fósforo se obtiene en hornos eléctricos a partir de la fosforita.

Para purificarlo se funde debajo de agua y se filtra a través de una gamuza.

Variedades alotrópicas. — También el fósforo, como el azufre y el carbono, puede presentarse en diferentes formas alotrópicas; pero en este caso las propiedades tanto físicas como químicas son muy diferentes de una forma a otra, por lo que las estudiaremos separadamente. *Las dos formas alotrópicas más importantes del fósforo se conocen con los nombres de fósforo blanco y fósforo rojo.*



Fósforo blanco. — *Es de color blanco amarillento,* a lo que debe su nombre (también se le suele llamar fósforo amarillo). *Es blando como la cera, insoluble en agua y soluble en sulfuro de carbono. Funde a 44 grados,* es decir, a temperatura poco superior a la temperatura ordinaria. *En la obscu-*

ridad emite luz (fosforece), a lo que debe su nombre, que significa portador de luz.

Químicamente es muy activo; es decir, se combina fácilmente con muchos elementos, especialmente con el cloro y el oxígeno. En el aire se inflama cuando su temperatura llega a 60 grados y en estado de fina división se **inflama espontáneamente a temperatura ordinaria.** Así sucede, por ejemplo, cuando se impregna un trozo de papel de filtro con una disolución de fósforo blanco en sulfuro de carbono y se deja evaporar el disolvente; el papel se pone a arder sin que nadie lo toque. Por este motivo el fósforo debe guardarse en frascos llenos de agua.

Es muy tóxico, siendo uno de los venenos más activos que se conocen.

El fósforo rojo. — *Esta variedad se obtiene calentando durante varios días el fósforo blanco fuera del contacto del aire.*

Es sólido, de color rojo. No es soluble en sulfuro de carbono. No funde por el calor, sino que se sublima, pasando directamente al estado de vapor. No es fosforescente ni tóxico.

Químicamente tiene las mismas propiedades que el fósforo blanco, pero muy atenuadas; es decir, que en todas sus manifestaciones el fóforo rojo es menos activo que el blanco.

Aplicaciones. — La principal aplicación del fósforo fue la fabricación de cerillas, cuya substancia inflamable se formaba con una mezcla de fósforo blanco con un oxidante (bióxido de plomo) y un aglutinante. Hoy día las cerillas no se fabrican a base de fósforo blanco para evitar accidentes por envenenamiento.

Ejercicios

¿Qué es y cuál es el símbolo del azufre? Cítense sus propiedades principales.

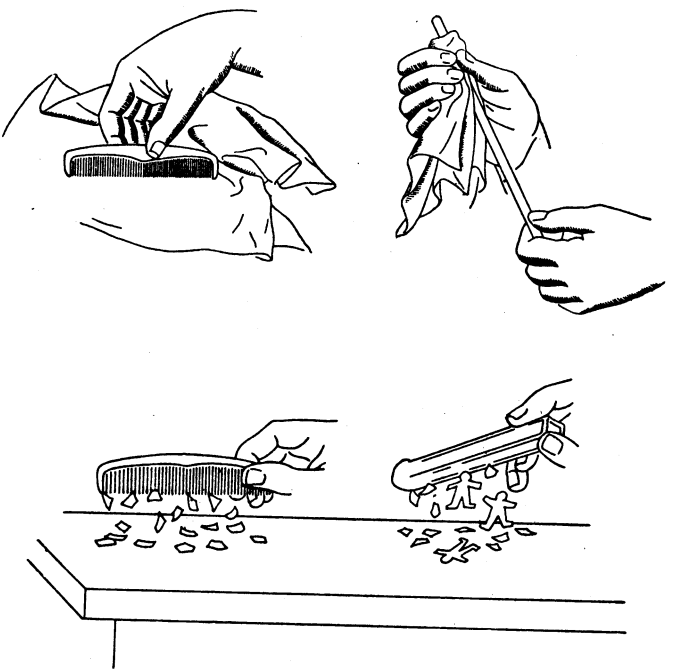
¿Cuáles son las variedades alotrópicas del azufre y cuáles son sus diferencias?

¿Qué es y cuál es el símbolo del fósforo? ¿Cuáles son sus variedades alotrópicas y cuáles sus propiedades que las distinguen?

Disuélvase una pequeña cantidad de fósforo en sulfuro de carbono, impregnando con esta disolución un trozo de papel de filtro. Déjese secar y obsérvese que al cabo de unos momentos el papel arde espontáneamente. ¿A qué se debe este fenómeno?

20. Electrostática

Electricidad. Electrización por frotamiento. — Si se frota una barra de vidrio con un paño de lana, una tela de seda o una piel de gato, se observa que adquiere la propiedad de atraer los cuerpos ligeros, como barbas de pluma o pedacitos de papel.



Determinados cuerpos — de vidrio o de ebonita — frotados con un paño de lana, adquieren la propiedad de atraer a los cuerpecillos ligeros.

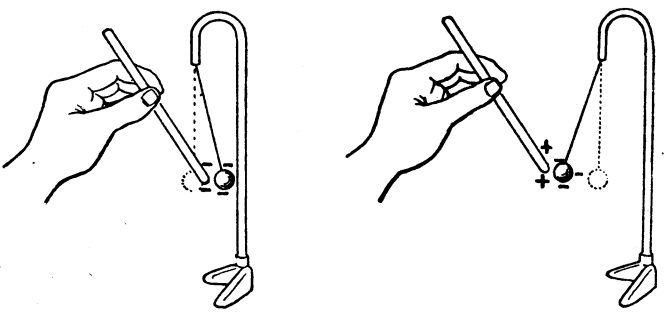
Esta propiedad la poseen igualmente otros cuerpos, como el lacre, la ebonita, el azufre y el ámbar amarillo, y es debida a cierta forma de energía que se desarrolla en ellos cuando se frotan. Tal energía recibe el nombre de *electricidad,* por haberse observado por primera vez en el ámbar amarillo, cuerpo que en griego recibe el nombre de electrón.

La electricidad es una forma de energía que reside en los cuerpos electrizados y es causa de numerosos fenómenos, entre otros las atracciones eléctricas.

La forma de cargar de electricidad un cuerpo (vidrio) mediante un fuerte roce o frotamiento con otro cuerpo (paño de lana) recibe el nombre de electrización por frotamiento.

Pendulillo eléctrico. — La atracción de los cuerpos electrizados sobre los cuerpos ligeros se observa perfectamente con un sencillo aparato llamado péndulo eléctrico.

El péndulo eléctrico consiste en una pequeña esferita de médula de saúco suspendida de un soporte mediante un hilo de seda.



Experiencia con el pendulillo eléctrico. Electricidades del mismo nombre se repelen y de distinto nombre se atraen.

Electrización por contacto. Repulsiones eléctricas. — Si acercamos al péndulo eléctrico una barra de vidrio electrizada por frotamiento, se observará que atrae la esferita de médula de saúco, separándola de su posición de equilibrio. Ahora bien, cuando la esferita llega a ponerse en contacto con la barra, inmediatamente es repelida fuertemente. Si repetimos el experimento con barras de lacre, ebonita, etc., obtendremos el mismo resultado.

Cualquier cuerpo electrizado atrae al pendulillo eléctrico; pero lo repelerá desde el momento en que ambos se pongan en contacto.

Este fenómeno se explica porque en un principio el pendulillo eléctrico no está electrizado, sino en estado neutro, y en tal estado es atraído. Pero al ponerse en contacto con un cuerpo electrizado, toma de él una parte de la electricidad que contiene, quedando a su vez electrizado y siendo repelido desde ese momento por el cuerpo del que tomó la electricidad.

La forma de comunicar electricidad a un cuerpo por contacto directo con otro ya electrizado se llama electrización por contacto.

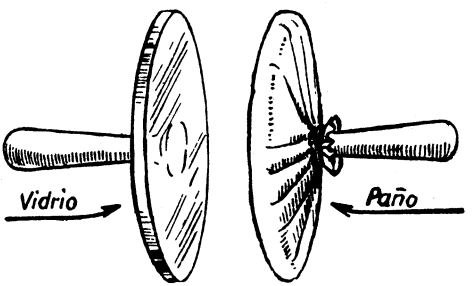
Clases de electricidad. Sentido de las acciones eléctricas. — Si a la esfera del pendulillo previamente electrizado por contacto con una barra de vidrio le acercamos una barra de resina que habremos frotado con un paño de lana, notaremos que ésta la atraerá fuertemente, mientras era repelida por el vidrio.

Por otra parte, si acercamos al pendulillo electrizado por contacto con la resina, que será repelido por ésta, una barra de vidrio electrizada se observa que lo atrae con fuerza. Es decir, el vidrio atrae al pendulillo que era rechazado por la resina y viceversa.

Existen, pues, dos clases de electricidad: una, la que se desarrolla en el vidrio, llamada vítrea o positiva, y otra, la que se desarrolla en la resina, llamada resinosa o negativa.

En cuanto al sentido de las acciones eléctricas se deduce que:

Dos cuerpos cargados con electricidad del mismo nombre se repelen y dos cuerpos cargados con electricidad de distinto nombre se atraen.



Si estos dos discos, uno de vidrio y otro recubierto de lana, se frotan, se electrizan con cantidades de electricidad iguales y de signo contrario.

Desarrollo simultáneo de ambas clases de electricidad. — En las experiencias que venimos efectuando hemos visto que una barra de vidrio, lacre, etcétera, cuando eran frotadas con un paño de lana, quedaban electrizadas. Pero, y el paño, que también sufre el mismo frotamiento, ¿se electrizará? La experiencia demuestra que así es en efecto. El pendulillo eléctrico revela la existencia en el paño de electricidad de nombre contrario a la adquirida por la barra frotada con él.

Más claramente se observa este fenómeno frotando dos discos provistos de mangos de vidrio o madera: uno *(A)* de vidrio y otro *(B)* de madera recubierto de lana. Acercándolos sucesivamente a un pendulillo eléctrico previamente electrizado sucede que si *A* le atrae, *B* lo repelará y viceversa.

Si se acercan al pendulillo ambos discos *A* y *B* simultáneamente y mantenidos a poca distancia uno de otro, no se notará atracción ni repulsión.

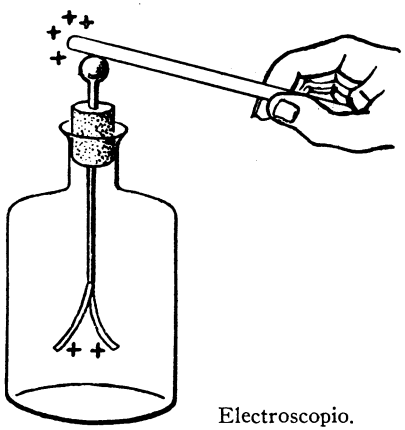
De estas experiencias se deduce:

Cuando se frotan dos cuerpos, se desarrollan en ellos cantidades equivalentes de electricidad, pero de nombre contrario.

Naturaleza de la electricidad. — De la experiencia anterior resulta que la electricidad existe ya en los cuerpos, y también que existen a la vez ambas clases de electricidad y en igual cantidad. Por esta causa, normalmente los cuerpos aparecen en estado neutro.

La física moderna nos enseña que los cuerpos están formados por *átomos,* que, aunque de tamaño inconcebiblemente pequeño, son muy complejos. Constituyen verdaderos sistemas solares, en los cuales existe un *núcleo,* que hace las veces de sol, y unos *electrones,* que giran alrededor del núcleo, haciendo las veces de planetas. En el núcleo hay cargas eléctricas positivas y los electrones planetarios son simples cargas negativas, todas iguales. Normalmente en cada átomo hay tantos electrones o cargas negativas como cargas eléctricas positivas tiene el núcleo. Ésta es la razón por la que la materia es de ordinario eléctricamente neutra.

Ahora bien, cuando se frotan dos cuerpos, los electrones se acumulan con preferencia en uno de ellos, que queda cargado con electricidad negativa, mientras que el otro, que queda con defecto de electrones, queda electrizado positivamente.



Electroscopio.

Electroscopio de panes de oro. — Para conocer el estado eléctrico de un cuerpo puede emplearse un aparato llamado *electroscopio de panes de oro.*

Éste consiste en una botella de vidrio de boca ancha cuyo tapón está atravesado por una varilla metálica. El extremo superior de ésta termina en una esferita, también metálica, mientras que de su parte inferior penden dos laminillas finísimas de oro.

Cuando tocamos la esferita con un cuerpo electrizado, se electriza por contacto, y su electricidad, desplazándose a lo largo de la varilla metálica, llega a las laminillas de oro, que, al quedar cargadas con electricidad de igual nombre, se repelerán separándose.

Si tocamos después la esferilla del electroscopio con otro cuerpo electrizado con electricidad del mismo nombre, las laminillas permanecerán separa-

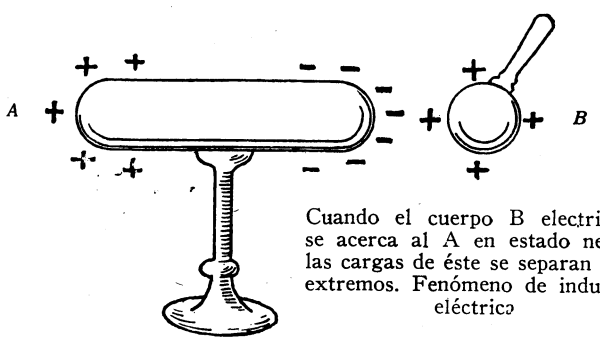
das; pero si está cargado con electricidad de nombre contrario, ambas electricidades se neutralizarán, por lo que al cesar la repulsión entre las laminillas éstas se acercarán. De esta manera se puede saber qué clase de electricidad contiene un cuerpo.

Buenos y malos conductores de electricidad. — En la experiencia anterior con el electroscopio de panes de oro, hemos visto que la electricidad que se comunicaba a la esferita metálica se desplazaba a lo largo de la varilla metálica y llegaba a las laminillas metálicas o panes de oro. Pero si substituímos la varilla metálica por otra de vidrio, ebonita o lacre, al repetir el experimento se observa que no hay repulsión entre las laminillas. Esto indica que la electricidad que hemos depositado en la esferita del electroscopio no ha llegado a las laminillas. Tal fenómeno se debe a que mientras unas substancias, como los metales, dejan pasar a su través a la electricidad, otros, como el vidrio y el lacre, no se dejan atravesar por ella.

Los cuerpos que, como los metales, se dejan atravesar por la electricidad se denominan buenos conductores de la electricidad, o simplemente conductores. Los que, como el vidrio y lacre, no se dejan atravesar por la electricidad reciben el nombre de malos conductores o aisladores.

En general, los cuerpos que son buenos conductores del calor lo son también de la electricidad, y los que no conducen bien el calor tampoco se dejan atravesar por la electricidad.

Inducción electrostática. Electrización por influencia. — Hasta ahora hemos considerado dos maneras de electrizar un cuerpo: por frotamiento (como el vidrio o lacre, frotados con un paño de lana) y por contacto (como el pendulillo eléctrico o el electroscopio de panes de oro).

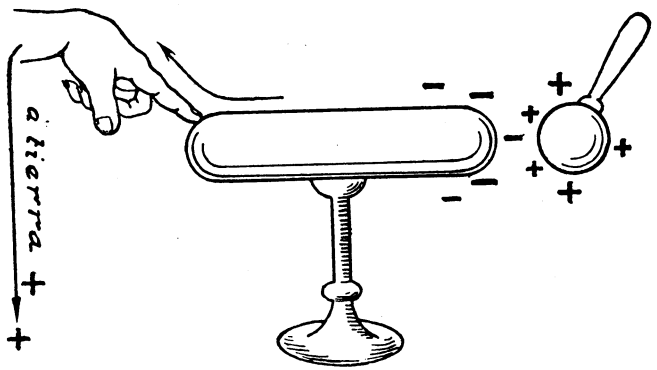


Cuando el cuerpo B electrizado, se acerca al A en estado neutro, las cargas de éste se separan a sus extremos. Fenómeno de inducción eléctrica

Existe otro medio de electrización y es el siguiente: tomemos un cuerpo metálico de forma alargada, como el de la figura, el cual se encontrará en estado neutro, es decir, dotado de ambas clases de electricidad en cantidad equivalentes. Si le acercamos, sin tocarlo, una esfera cargada de electricidad positiva, ésta ejercerá su acción sobre las cargas del primero, atrayendo a

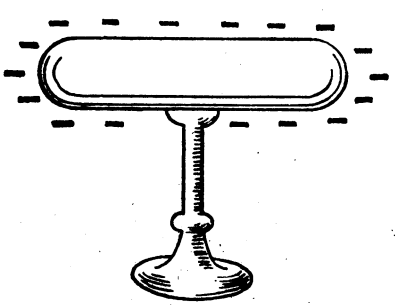
las negativas y repeliendo a las positivas, de forma que ambas clases de electricidad se separarán, acumulándose las primeras en la parte más próxima al cuerpo *B*, y las segundas en la parte más alejada, tal como indica la figura. Debido a este fenómeno, que se llama *inducción electrostática,* un cuerpo queda electrizado en sus extremos por la sola presencia de otro cuerpo previamente electrizado.

Si ahora alejamos nuevamente la esfera electrizada *B*, las cargas de *A* vuelven a repartirse por todo el cuerpo, y éste queda de nuevo en estado neutro.



Cuando tocamos con el dedo un extremo del cuerpo A, las cargas acumuladas en él, huyen al suelo.

No obstante, podemos conseguir que el cuerpo *A* quede electrizado después de retirar la esfera *B*. Para ello, antes de retirarlo, pondremos en comunicación, mediante un hilo conductor, el extremo de *A* con el suelo. En ese momento, las cargas eléctricas acumuladas en aquel punto, que, como decíamos, tienden a huir de la proximidad del cuerpo *B*, se desplazarán a través del conductor y se difundirán en el suelo. Si ahora quitamos el hilo que establecía la comunicación entre el cuerpo *A* y el suelo, al retirar la esfera *B* el cuerpo *A* quedará con un exceso de cargas negativas, que se repartirán por todo él, quedando así electrizado.



Al retirar el cuerpo inductor, el otro queda cargado eléctricamente.

Recibe el nombre de inducción electrostática el fenómeno según el cual la presencia de un cuerpo cargado eléctricamente determina en otro conductor, ais-

lado y próximo a él, la separación de ambas clases de electricidad, que se acumulan en los extremos del mismo.

Recibe el nombre de electrización por influencia la forma de cargar eléctricamente un cuerpo por la presencia de otro ya electrizado.

Ejercicios

Frótese con un paño de lana una barra de vidrio y obsérvese que adquiere la propiedad de atraer al pendulillo eléctrico.

Repítase la experiencia con una barra de ebonita.

Obsérvense las atracciones y repulsiones eléctricas entre las barras de vidrio y ebonita electrizadas y el pendulillo eléctrico. Compruébese que qualquiera de las dos barras electrizadas atrae al pendulillo primeramente y lo repele después de haberse puesto en contacto con él. ¿A qué se debe este fenómeno?

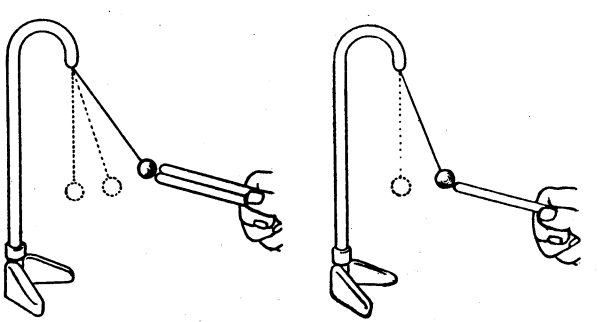
¿Cuál es la naturaleza de la electricidad?

Tómese en la mano un electroscopio de panes de oro, y descríbase.

Obsérvese que un electroscopio cargado eléctricamente se descarga cuando lo tocamos con una barra metálica, y no se descarga cuando lo tocamos con una barra de vidrio o de ebonita. ¿A qué se debe este fenómeno?

21. La corriente eléctrica

Noción de masa eléctrica. Unidad de masa eléctrica. — Si se electriza por frotamiento una barra de vidrio y se acerca a un pendulillo eléctrico, notaremos la atracción que ejerce sobre él. Si electrizamos ahora otra barra de vidrio y la acercamos al pendulillo, juntamente con la primera. observaremos que éste es atraído con mayor fuerza.



Dos barras de vidrio electrizadas, atraen al pendulillo eléctrico con mayor fuerza que una solo.

La electricidad es la causa de las atracciones eléctricas, y la atracción sobre el pendulillo es tanto mayor cuanto mayor es la cantidad de electricidad que actúa sobre él.

Si se acercan sucesivamente al pendulillo eléctrico dos cuerpos electrizados y uno de ellos le atrae con una fuerza dos, tres, etc., veces mayor que el otro, se admite que tiene también una cantidad de electricidad dos, tres, etc., veces mayor.

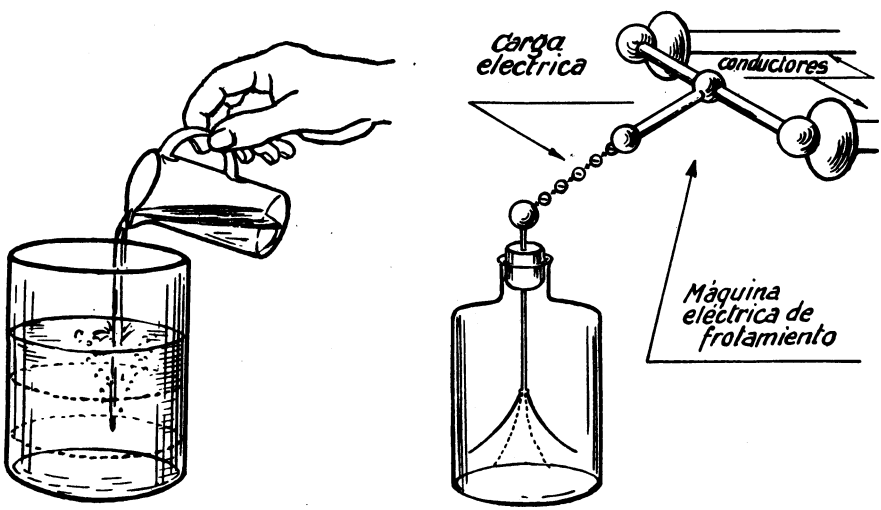
La cantidad de electricidad que posee un cuerpo se llama masa eléctrica.

La masa eléctrica puede medirse comparando su fuerza atractiva con la de otra masa eléctrica tomada como unidad.

La unidad de masa eléctrica podría ser la contenida en el electrón. Sin embargo, esta cantidad de electricidad resulta muy pequeña para tomarla como unidad en las mediciones ordinarias, por lo cual se emplea otra unidad mayor, que recibe el nombre de culombio.

La unidad práctica de masa eléctrica recibe el nombre de culombio.

Potencial eléctrico. — Lo mismo que cuando se comunica calor a un cuerpo su temperatura se eleva tanto más cuanto mayor es la cantidad de calor suministrada, y de la misma manera que cuando se vierte agua en una vasija su nivel aumenta a medida que es mayor la cantidad vertida, cuando se electriza un cuerpo la electricidad alcanza en él un nivel o potencial tanto mayor cuanto mayor es la cantidad de electricidad comunicada.



La misma relación hay entre la cantidad de electricidad que posee un cuerpo y su potencial eléctrico, que entre la cantidad de agua contenida en una vasija y el nivel que ésta adquiere. El potencial eléctrico de un conductor es el nivel eléctrico que alcanza en él la electricidad.

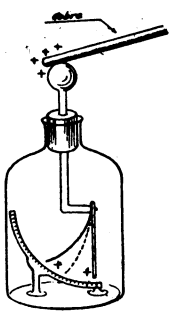
Existe la misma relación entre la cantidad de electricidad que posee un cuerpo y su potencial eléctrico que entre el calor comunicado a un cuerpo y su temperatura, y la misma que entre la cantidad de agua puesta en una vasija y el nivel alcanzado por ella:

El potencial eléctrico de un cuerpo viene a ser el nivel o tensión que alcanza la electricidad dentro de él.

Diferencia de potencial. — Cuando dos cuerpos, uno caliente y otro frío, se ponen en contacto, el primero cede calor al segundo en la cantidad necesaria para igualar sus temperaturas. De la misma forma, cuando dos cuerpos electrizados a diferente potencial se ponen en contacto, el que tiene mayor potencial cede electricidad al que lo tiene menor hasta quedar igualados sus potenciales.

Entre dos cuerpos electrizados existe diferencia de potencial cuando, puestos en contacto, uno cede electricidad a otro. La electricidad pasa del cuerpo de mayor potencial al cuerpo de potencial más bajo.

Medida de potenciales mediante el electrómetro. — Según se deduce de los párrafos anteriores, cuando tocamos un electroscopio con un cuerpo electrizado, éste le cederá una cantidad de electricidad tanto mayor cuanto más alto sea su potencial, hasta quedar igualados ambos potenciales. Por tanto, la cantidad de electricidad acumulada en las laminillas del electroscopio y como consecuencia su separación, será proporcional al potencial del cuerpo con que se le ponga en contacto.



Electrómetro. Cuanto mayor es el potencial del cuerpo con que se toca la esferita del electrómetro, mayor es la separación de sus hojillas.

De igual manera que para conocer la temperatura de un cuerpo le ponemos en contacto con un termómetro, al que cede calor hasta que sus temperaturas son iguales, y ésta se conoce en el termómetro por la altura que alcanza su columna de mercurio, para conocer el potencial de un cuerpo electrizado se pone en contacto con un electroscopio, al que comunica electricidad hasta igualarse en ambos el potencial, y éste se manifiesta en el electroscopio por la separación producida entre sus hojillas.

Recibe el nombre de electrómetro un electroscopio que dispone de un limbo graduado, colocado de forma que permite medir la separación de sus hojillas metálicas, destinado especialmente a la medida de potenciales.

La unidad práctica para la medida de potenciales o de diferecias de potencial es el voltio.

Corriente eléctrica. — Cuando dos cuerpos electrizados a diferente potencial se ponen en comunicación mediante un hilo metálico, la electricidad pasa de uno a otro hasta igualarse sus potenciales. *El paso de la electricidad a través de un conductor constituye una corriente eléctrica.*

Ahora bien, sabemos que existen dos clases de electricidad: la negativa, constituida por electrones, y la positiva, formada por cargas de igual valor que los electrones, aunque de signo contrario, las cuales se encuentran ligadas a los núcleos de los átomos y, por tanto, ligadas a la materia. Cuando un cuerpo se electriza positivamente es porque se le arrancan electrones y quedan cargas positivas en exceso. Cuando se electriza negativamente es porque adquiere electrones. Es decir, que solamente las cargas negativas pueden moverse y pasar de un cuerpo a otro.

Por tanto, cuando por un conductor pasa una corriente eléctrica, la electricidad que transporte será siempre negativa.

La corriente eléctrica constituye un transporte de electrones a través de un conductor.

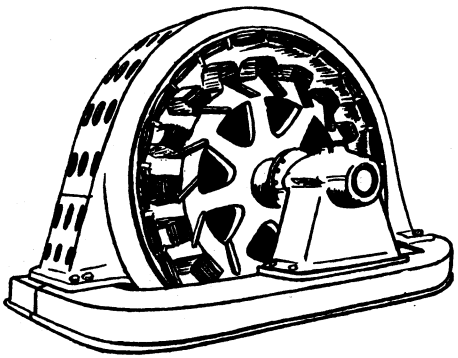
Los electrones se mueven de los puntos de potencial menos elevado a los de potencial más alto, precisamente al contrario de lo que habíamos dicho anteriormente. Sin embargo, por costumbre, se sigue diciendo que la corriente eléctrica circula de los potenciales mayores a los menores, aun sabiendo que los electrones circulan realmente en sentido contrario.

Generadores de corriente. Fuerza electromotriz. — La corriente eléctrica que circula a través de un conductor que une dos cuerpos a diferente potencial dura tan sólo unos instantes, cesando tan pronto como se igualan los potenciales. Para que durase más tiempo sería necesario mantener la diferencia de potencial que la origina.

Tomemos una barra de cobre y calentemos uno de sus extremos. El calor se transmitirá hasta el otro, y si a éste colocamos unos trocitos de hielo, el calor que allí llega los irá fundiendo. La corriente de calor establecida dura mientras dure la diferencia de temperaturas entre los dos extremos de la barra. Si dejamos de comunicarle calor, llegará un momento en que todos sus puntos quedarán a igual temperatura, y el calor dejará de correr a lo largo de ella.

De igual manera, si entre los extremos de un hilo de cobre establecemos una diferencia de potencial, y mediante un dispositivo apropiado logramos mantenerla, se mantendrá también la corriente eléctrica producida, la cual circulará mientras dure la diferencia de potencial.

Alternador que genera energía eléctrica.



Reciben el nombre de generadores de corriente los aparatos destinados a producir y mantener una diferencia de potencial entre dos de sus puntos, llamados bornes .

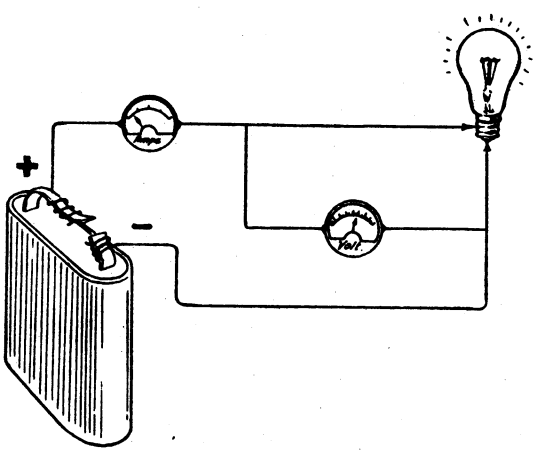
Para producir y mantener la diferencia de potencial entre sus bornes, los generadores de corriente han de consumir cierta energía. Ésta puede ser mecánica (dinamos), química (pilas hidroeléctricas) o calorífica (pilas termoeléctricas).

La corriente eléctrica sale del polo positivo del generador y entra por el polo negativo. Los electrones siguen el camino inverso.

Se llama fuerza electromotriz a la causa que reside en los generadores que origina y mantiene la diferencia de potencial entre sus bornes. La fuerza electromotriz de un generador se mide por la diferencia de potencial que produce. Por tanto se mide en voltios lo mismo que la diferencia de potencial.

Circuito eléctrico. — *Recibe el nombre de circuito eléctrico el conductor o conductores que, sin solución de continuidad, unen el polo positivo de un generador con el polo negativo del mismo, a través de los cuales circula la corriente eléctrica.*

Cuando el circuito queda interrumpido en un punto, se dice que se ha



Los hilos conductores que unen los bornes de esta pila, con los aparatos intercalados, constituyen un ejemplo de circuito eléctrico.

abierto el circuito y la corriente cesa. Cuando el contacto se restablece, se dice que se ha cerrado el circuito y la corriente circula de nuevo. Cuando un aparato se encuentra intercalado en un circuito de forma que toda la electricidad que circula por éste, está obligada a pasar por el aparato, se dice que está instalado en serie. Cuando está de forma que sólo pasa por él una parte de la electricidad que recorre el circuito, se dice que está en derivación.

En la figura, el aparato *Amp.* se encuentra instalado en serie y el *Volt.* en derivación.

Intensidad de la corriente eléctrica. Unidad de intensidad de corriente. — La corriente de agua de un río o canal puede ser débil o intensa. Decimos que es débil cuando, por una sección del mismo, pasa poca cantidad de agua en una unidad de tiempo. Por el contrario, decimos que es una corriente intensa cuando pasa una gran cantidad de agua en la misma unidad de tiempo.

Siguiendo como en ocasiones anteriores el símil hidráulico, en electricidad se dice que una corriente es débil o intensa según sea pequeña o grande la cantidad de electricidad que atraviesa una sección del conductor en la unidad de tiempo.

Se llama intensidad de una corriente a la cantidad de electricidad que pasa por una sección del conductor en cada unidad de tiempo.

La unidad práctica de intensidad es el amperio.

Noción de resistencia eléctrica. — Puesto que la corriente eléctrica es un transporte de electrones a través de un conductor, éste debe ofrecer cierta resistencia u oposición al paso de los electrones, de la misma manera que un líquido ofrece cierta resistencia al movimiento en su seno de cualquier cuerpo.

Se llama resistencia eléctrica de un conductor a la oposición o resistencia que presenta al paso de la corriente eléctrica.

Se comprende fácilmente que la resistencia de un conductor será mayor cuanto mayor sea su longitud y cuanto menor sea su sección. Además dependerá de la clase de material que forme el conductor, pues cada substancia tiene sus características especiales.

La unidad práctica para medir resistencias de conductores es el ohmio.

Proporcionalidad entre la intensidad de una corriente eléctrica y la diferencia de potencial que la origina. — Cuando por una tubería circula una corriente de agua, su intensidad depende de la diferencia de presión que existe entre sus extremos. Cuando abrimos un grifo, el agua sale más o menos de prisa según sea la altura del depósito de donde procede o según la presión a que se la introduce en la canalización.

De la misma manera, la intensidad de una corriente eléctrica a través de un conductor depende de la diferencia de potencial entre sus extremos. A medida que crece la diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor, crece la intensidad de la corriente que circula entre ellos.

Si entre dos puntos de un conductor hay primero una diferencia de poten-

cial V_1 y después V_2, V_3, V_4 y las intensidades correspondientes a estas diferencias son I_1, I_2, I_3, I_4, se puede comprobar que *la relación o cociente entre la diferencia de potencial y la intensidad correspondiente es constante;* es decir, que:

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{V_3}{I_3} = \frac{V_4}{I_4} = \text{constante}$$

y esa razón constante de la diferencia de potencial a la intensidad de corriente es precisamente igual a la resistencia del conductor. O sea:

$$\frac{V}{I} = R \quad \text{(Ley de Ohm)}$$

Ejercicios

¿Qué es masa eléctrica y cuál es su unidad de medida?

Explíquese la noción de potencial eléctrico, y dígase en qué unidades se mide el potencial eléctrico.

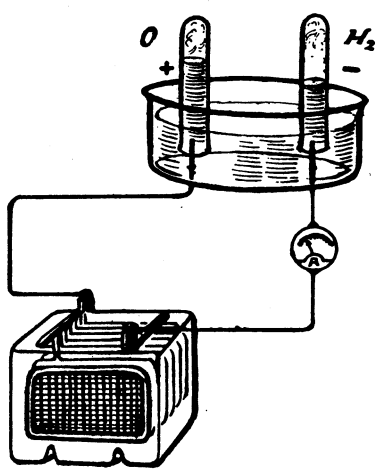
¿Qué es la corriente eléctrica?

Fórmese un circuito eléctrico con una pila o acumulador y un amperímetro, un voltímetro y una resistencia. Mídanse la intensidad de la corriente que circula por el circuito anterior y la diferencia de potencial que existe entre los polos de la pila.

22. Efectos de la corriente eléctrica

Efectos generales de la corriente eléctrica. — Cuando la corriente eléctrica circula por un coductor puede dar lugar a una serie de efectos que revelan el paso de la misma. Estos efectos son de varias clases, apareciendo unos u otros según las condiciones en que se produce la corriente.

Efectos químicos. — Cuando la corriente eléctrica atraviesa el agua, hecha conductora mediante la adición de unas gotas de ácido sulfúrico, la descompone, desprendiéndose hidrógeno y oxígeno de los electrodos o extremos de los cables con los que se lleva la electricidad hasta el agua.

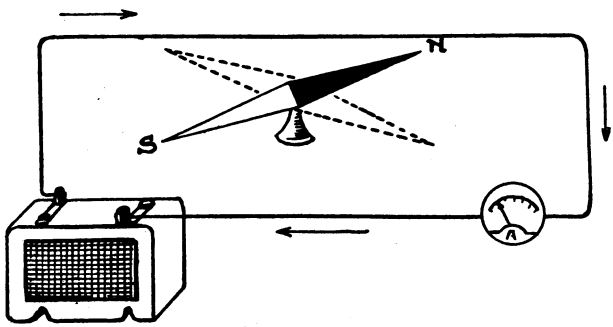


El paso de la electricidad a través del agua, hecha conductora con unas gotas de ácido sulfúrico, la descompone en sus elementos.

Recibe el nombre de electrólisis la descomposición de una solución conductora al paso de la corriente eléctrica. La electrólisis es un efecto químico de la corriente.

La electrólisis tiene numerosas aplicaciones, de las cuales ya nos referimos en otro lugar a la que sirve para la obtención de hidrógeno y oxígeno.

Efectos magnéticos. — Coloquemos un conductor eléctrico paralelamente a una aguja imantada en equilibrio y hagamos pasar por él una corriente eléctrica intensa. Observaremos que, tan pronto como se establece la corriente, la aguja se desvía de su primitiva posición y tiende a colocarse perpendicularmente a la corriente.



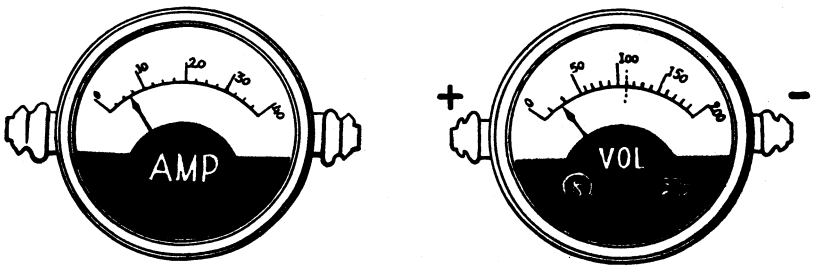
La aguja magnética se desvía bajo la acción de una corriente eléctrica próxima.

Esta experiencia nos muestra el efecto magnético de la corriente y nos indica que *la corriente eléctrica puede ponerse de manifiesto por su acción sobre los imanes,* ya que cuando no pasa corriente la aguja no se desvía.

Existen aparatos basados en este principio que sirven para denunciar el paso de una corriente a través de un circuito, su sentido e incluso su intensidad. Estos aparatos reciben el nombre de *galvanoscopios* si sólo sirven para señalar el paso de corriente y su dirección y *galvanómetros* si, además, sirven para medir su intensidad.

El mismo fundamento tienen también otros aparatos usados corrientemente en electricidad destinados a medir la intensidad de la corriente, o la diferencia de potencial que existe entre dos puntos de un circuito. Estos aparatos reciben el nombre de *amperímetros* y *voltímetros* respectivamente. *Los amperímetros se instalan en serie* en el circuito por donde circula la corriente cuya intensidad se quiere medir. *Los voltímetros se instalan en derivación* entre los puntos del circuito cuya diferencia de potencial quiere medirse.

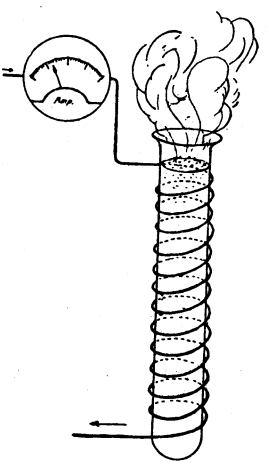
Efecto calorífico y luminoso producido por la corriente eléctrica. — Arrollemos un hilo de hierro de 0,2 mm. de diámetro a un tubo de ensayo que contiene agua y conectemos sus extremos a los bordes de un acumulador. Observaremos que tan pronto como se establece el paso de la corriente, el



Los amperímetros y los voltímetros se fundan en las acciones magnéticas de las corrientes eléctricas.

hilo comienza a calentarse, llegando a calentar el agua contenida en el tubo, incluso haciéndola hervir. El hilo desarrolla calor, que puede llegar a ponerlo incandescente, desprendiendo en este caso no sólo calor, sino luz.

Si en lugar de usar hierro usamos hilo de plomo, el calor desarrollado podrá llegar a fundir el hilo.



El calor desarrollado por la corriente eléctrica, puede hacer hervir el agua contenida en este tubo de ensayo.

De modo general puede decirse que cuando una corriente atraviesa un conductor desarrolla en él cierta cantidad de calor, que puede llegar en ocasiones a ponerlo incandescente, desprendiendo entonces calor y luz.

El calor producido al pasar la corriente a través de un conductor, es consecuencia de la resistencia de éste a dejarse atravesar por los electrones.

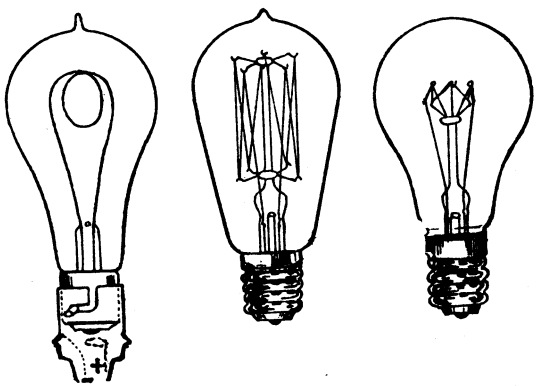
De la misma manera que cuando el eje de un volante gira mucho tiempo sobre un cojinete mal engrasado termina calentándose, los electrones que forman la corriente eléctrica, al desplazarse por el conductor y chocar contra los átomos de la materia del mismo, desarrollan calor.

Factores de que depende la cantidad de calor desarrollada por una corriente. — Hagamos pasar corrientes eléctricas de diferentes intensidades a

través de conductores de varias clases y durante tiempos diversos. Observaremos que *la cantidad de calor desarrollada por la corriente eléctrica depende de tres factores, que son: la intensidad de la corriente, el tiempo durante el cual circula y la materia que forma el conductor, es decir, su resistencia eléctrica.*

Lámpara de incandescencia.— Los fenómenos caloríficos y luminosos que acompañan al paso de una corriente por un conductor, tienen numerosas aplicaciones de gran importancia,siendo una de las más importantes la lámpara de incandescencia.

La primitiva lámpara eléctrica de Edison estaba formada por un hilo de



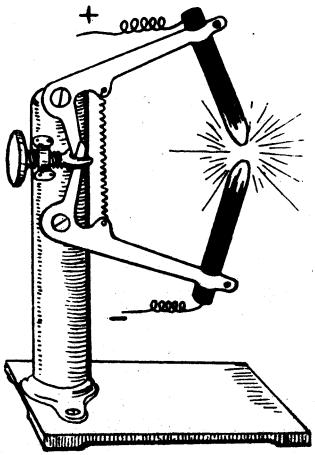
Lámparas de incandescencia.

carbón de bambú encerrado en una ampolla de vidrio, en la cual se realizaba el vacío para evitar su combustión al ponerse incandescente. Los extremos de este hilo comunicaban con el exterior por medio de dos pequeños hilos metálicos soldados al vidrio y en comunicación con dos contactos metálicos.

Cuando esta lámpara se intercalaba en un circuito de forma que la corriente eléctrica atravesase el hilo de carbón, éste, por la gran resistencia que ofrece al paso de la corriente, se ponía incandescente, desprendiendo luz mientras no se interrumpía la corriente.

En esta lámpara no podía elevarse mucho la temperatura del filamento, por lo que la luz producida era rojiza y relativamente débil. Posteriormente se han empleado filamentos metálicos (tungsteno, osmio, etc.), con lo cual se ha obtenido luz más blanca y adecuada para la iluminación.

Arco voltaico. — Tomemos dos barras de carbón de retorta terminadas en punta y pongamos cada una de ellas en comunicación con un polo de un potente generador eléctrico mediante hilos metálicos. Manteniendo los carbones horizontales, pongámoslos en contacto por sus extremos aguzados, y se-



El arco voltaico constituye una fuente de luz y de calor.

parémoslos después procurando queden sus puntas a pequeña distancia.. Observaremos la formación de un arco luminoso deslumbrador, que sólo podremos mirar si nos protegemos la vista con cristales ahumados. Este arco, llamado *arco voltaico,* está formado por partículas de carbón incandescente que saltan del carbón positivo al negativo.

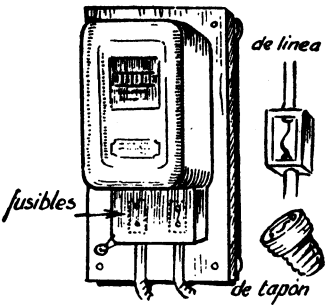
Este manantial luminoso, sumamente potente, se emplea en lámparas de proyección y proyectores de cine.

El arco voltaico no sólo produce una gran cantidad de luz, sino también de calor, alcanzándose en él temperaturas hasta de 3.500 grados. Esta elevada temperatura permite aplicar el arco voltaico a la fundición de metales difícilmente fusibles.

Para ello, los carbones destinados a producir el arco quedan dentro de una cavidad excavada en un bloque de cal o de otro material infusible. Dentro de ella se introduce en un crisol, de material también infusible, la materia que se quiere someter al calor del arco.

Fusibles. — Otra aplicación muy frecuente del calor desarrollado por la corriente electrica se hace con los fusibles que se intercalan en los circuitos eléctricos.

Cuando, por alguna razón, la intensidad de la corriente que atraviesa un circuito se eleva más de lo debido, el calor desarrollado por ella puede ser tan grande, que llegue a quemar la instalación o parte de ella, con el consiguiente perjuicio. En cambio, si en el circuito se intercala un pequeño trozo de hilo de plomo, de sección adecuada, cuando aumente la intensidad de la corriente, antes de quemarse o fundirse el conductor de cobre o los aparatos que haya en el circuito, se fundirá el hilo de plomo, que es un metal fácilmente fusible, abriéndose de esta forma el circuito y dejando de pasar la corriente. De esta manera se evita la destrucción o deterioro de la instalación.



Una aplicación del calor desarrollado por la corriente eléctrica, son los fusibles que se intercalan en los circuitos eléctricos.

Los fusibles son pequeños hilos de plomo intercalados en los circuitos para protegerlos de aumentos accidentales de la intensidad de la corriente, que podrían destruirlos o inutilizarlos.

Cada aparato consumidor de electricidad, en una instalación (lámpara de incandescencia, hornillo eléctrico, plancha, etc.), debe llevar su correspondiente fusible, adecuado a la intensidad de corriente que ordinariamente tendrá.

Otras aplicaciones del calor desarrollado por la corriente eléctrica. — Otras aplicaciones del calor desarrollado por la corriente eléctrica se hacen en los hornillos, estufas, planchas eléctricas, etc.

Todos estos aparatos consisten esencialmente en unos conductores metálicos que ofrecen gran resistencia al paso de la corriente eléctrica, y que se ponen incandescentes por el calor desarrollado por la misma. Las resistencias de estos aparatos se fabrican con aleaciones que ofrezcan una temperatura de fusión por encima de la que han de tener cuando están en funcionamiento.

Ejercicios

Fórmese un circuito con dos hilos conductores conectados a los polos de una pila, cuyos extremos se introducen en agua acidulada contenida en un vaso o cristalizador. Obsérvese el desprendimiento de gases que se verifica al paso de la corriente por el agua. ¿Cómo se llama este fenómeno y cuáles son los gases que se desprenden?

Hágase pasar una corriente de una batería de automóvil por un hilo de plomo de 0,2 mm. Obsérvese que el hilo de plomo se calienta y llega a fundirse. ¿Cuál es la causa de este fenómeno?

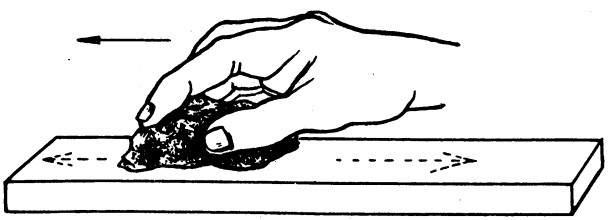
¿De qué factores depende el calor desarrollado por la corriente eléctrica que atraviesa un conductor?

Descríbase una lámpara de incandescencia y dígase la diferencia esencial entre la primitiva lámpara de Edison y las modernas lámparas de gran potencia.

Compruébese el desprendimiento de calor en las estufas y planchas eléctricas y descríbase en esencia.

23. Magnetismo

Magnetismo. Imanes — Desde muy antiguo es conocido un mineral llamado magnetita o piedra imán, que tiene la propiedad de atraer al hierro.



Frotando magnetita sobre una barra de acero, ésta adquiere la propiedad de atraer al hierro.

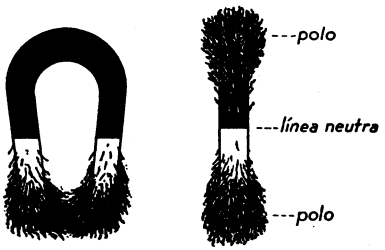
Si frotamos una barra de acero con un trozo de magnetita, haciéndolo siempre en el mismo sentido, observaremos que también aquélla adquiere la propiedad de atraer al hierro.

Recibe el nombre de magnetismo la propiedad de atraer al hierro que posee naturalmente la magnetita, y que puede adquirir artificialmente una barra de acero. Los cuerpos que están dotados de magnetismo reciben el nombre de imanes.

Los imanes pueden ser, por tanto, naturales, como la magnetita, y artificiales, como una barra de acero imantada.

Polos y línea neutra. — Introduzcamos un trozo de magnetita entre limaduras de hierro. Al sacarlo observaremos que éstas quedan adheridas a la magnetita de un modo completamente irregular agrupándose en determinados puntos, arbitrariamente repartidos sobre la superficie del mineral. Esto prueba que en la magnetita el magnetismo está repartido de manera desigual y arbitraria.

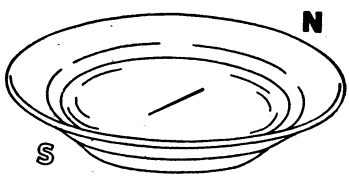
Hagamos la misma experiencia con una barra de acero imantado y observaremos que el resultado es completamente diferente. Las limaduras se adhieren de preferencia hacia los extremos de la barra, donde parece concentrarse el magnetismo, mientras que en la parte media no son retenidas.



Las limaduras de hierro atraídas por el imán se acumulan en sus extremos o polos y no en el centro, donde está la línea neutra.

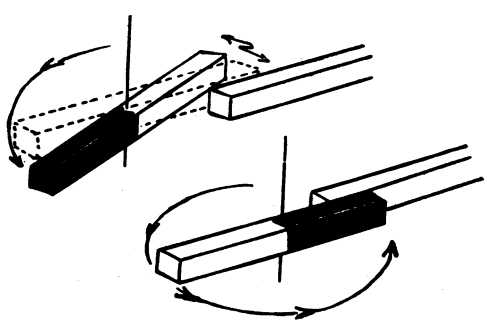
Se llama zona neutra de una barra imantada a la parte media de la misma donde no se manifiesta atracción sobre las limaduras de hierro. Reciben el nombre de polos del imán los extremos donde se manifiesta la atracción con mayor intensidad.

Acciones recíprocas entre polos magnéticos. — Tomemos una barra imantada y suspendámosla de su punto medio mediante un hilo. Abandonándola libremente observaremos que, después de varias oscilaciones, queda orientada



Una aguja imantada, depositada en la superficie de un líquido, se orienta en la dirección Norte-Sur.

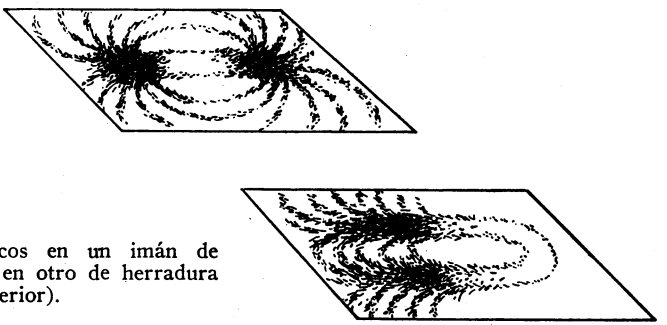
en la dirección norte-sur terrestre. Esta orientación es siempre la misma, cualquiera que sea la posición inicial de la barra y prueba que los polos del imán no son idénticos, ya que uno se dirige siempre hacia el norte, mientras el otro se dirige siempre hacia el sur y no indistintamente. *El polo del imán que se dirige hacia el norte terrestre recibe el nombre de polo norte del imán y el opuesto polo sur.*



Polos de igual nombre se repelen y de distinto nombre se atraen.

Si estando en reposo la barra imantada del experimento anterior le acercamos otra barra imantada de modo que sus polos norte queden frente a frente, observaremos que se repelen mutuamente, pero si quedan frente a frente un polo sur y un polo norte, se observará que se atraen.

Este resultado nos indica que *los polos magnéticos del mismo nombre se repelen y los de distinto nombre se atraen.*



Espectros magnéticos en un imán de barra (superior) y en otro de herradura (inferior).

Campo magnético. Líneas de fuerza. — Tomemos nuevamente el imán que nos ha servido en experiencias anteriores suspendido de su parte media por un hilo y esperemos que quede en reposo. Acerquémosle otro imán, y observaremos que cualquiera que sea el camino por el que se lo acerquemos al llegar a cierta distancia el primero acusa la presencia del otro. Se deduce, pues, que la fuerza atractiva de un imán no se ejerce más allá de cierto límite.

Se llama campo magnético de un imán el conjunto de todos los puntos del espacio a su alrededor donde se deja sentir su influencia o acción.

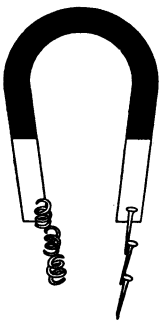
El cuerpo magnético puede materializarse colocando sobre el imán una cartulina sobre la que se espolvorean limaduras de hierro. Éstas se orientan según ciertas líneas que partiendo de un polo del imán se dirigen hacia el otro. La figura que forman las limaduras de hierro sobre la cartulina constituyen un *espectro magnético,* y nos da una idea de cómo es el campo magnético existente alrededor del imán.

Supongamos que fuese posible aislar un polo magnético norte y colocarlo sobre el polo de igual nombre de un imán. Sería repelido por este y atraído por el polo sur, de forma que se desplazaría de uno a otro siguiendo precisamente una de aquellas líneas según las que se orientaron las limaduras de hierro en el espectro magnético.

Se denominan líneas de fuerza cada uno de los caminos que podría seguir un polo norte aislado al desplazarse desde el polo norte al polo sur de un imán. Éstas quedan materializadas en el espectro magnético por las líneas según las cuales se disponen las limaduras de hierro.

Las líneas de fuerza salen por el polo norte y entran por el polo sur.

Inducción magnética. — Toquemos con un polo de un imán el extremo de una barrita de hierro dulce. Observaremos que por este solo hecho adquiere la propiedad de atraer limaduras de hierro, quedando convertida en un imán por influencia del primero.



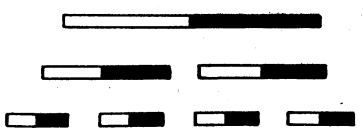
Cuando un polo de un imán toca un alfiler de hierro, éste adquiere magnetismo por inducción.

Cuando se separan el imán y la barrita de hierro dulce ésta pierde su imantación; es decir, que el hierro dulce sólo adquiere magnetismo temporalmente.

Si la experiencia se hace con una barrita de acero, ésta queda imantada, pero el magnetismo se conserva aún después de separarse del imán, lo que indica que el acero adquiere el magnetismo de forma permanente.

La comunicación de magnetismo al hierro y al acero por influencia de otro imán recibe el nombre de inducción magnética.

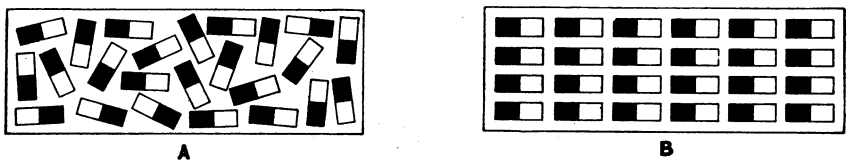
Experiencia del imán roto. Constitución de los imanes. — Imantemos una aguja de acero de las que se usan para hacer media. Si la partimos por la mitad, observaremos que cada una de las mitades se ha convertido en un



Cada vez que se corta en dos una barra imantada, cada una de las partes obtenidas queda convertida en un imán con sus dos polos.

imán completo, con sus correspondientes polos norte y sur. Lo mismo ocurrirá cada vez que cortemos uno de los imanes obtenidos. Si los imanes obtenidos se unen de nuevo adaptando a cada polo norte el polo sur del imán siguiente, formando con todos una barra única, se observa que todos los polos magnéticos intermedios desaparecen y permanecen solamente los polos norte y sur de los extremos.

Esta experiencia se explica admitiendo que los imanes *están constituídos por infinidad de pequeños imanes, ordenados todos de forma que el polo norte de cada uno está en contacto con el sur del siguiente, quedando tan sólo de manifiesto en todo el imán un polo norte en un extremo y un polo sur en el extremo opuesto.*

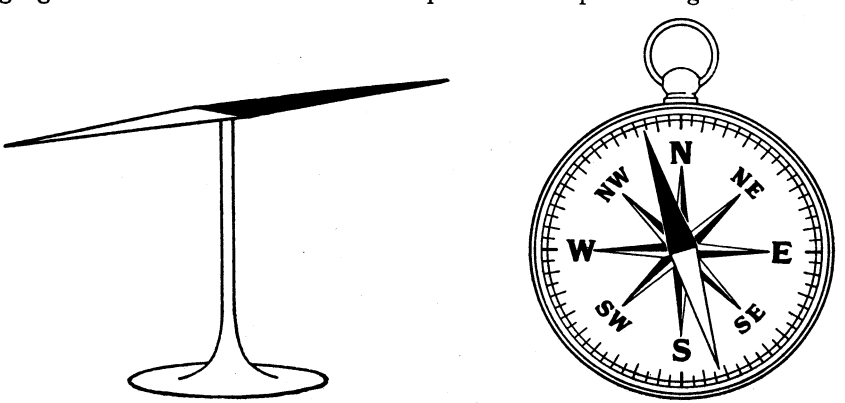


Cada molécula de una barra de hierro o acero es un imán, y cuando se orientan todas en el mismo sentido (B), la barra (A) queda convertida en un imán.

Estos imanes elementales existen ya en el hierro y en el acero (realmente estos imanes no son sino las propias moléculas de hierro), pero desordenados, de modo que mutuamente neutralizan sus polos sin manifestar, por esta causa, ninguna acción magnética. Cuando, por la acción de un campo magnético exterior, estos imanes elementales se orientan, se suman los efectos de todos los imanes y se deja sentir así el efecto de todo el conjunto.

En el caso del hierro dulce, los imanes elementales se desorientan de nuevo al cesar la acción orientadora del campo magnético exterior, mientras que en el caso del acero esta orientación es permanente.

Magnetismo terrestre. Brújula. — El hecho de que un imán que puede girar alrededor de un eje vertical se orienta en la dirección norte-sur de la tierra, indica claramente que ésta actúa como si fuese un gran imán, cuyos polos sur y norte coincidirán aproximadamente con los polos norte y sur geográficos. Por esta razón se dice que la tierra posee magnetismo.



Una aguja imantada que gira sobre un eje vertical constituye una brújula. A la derecha, brújula de bolsillo para orientarse en todas ocasiones.

El magnetismo terrestre es, pues, la causa de la orientación de los imanes cuando pueden girar alrededor de un eje vertical.

La propiedad de los imanes de orientarse en la dirección norte-sur de la tierra, ha permitido usarlos desde hace cientos de años para la orientación de los navegantes, usando para ello imanes especialmente adaptados, llamados brújulas.

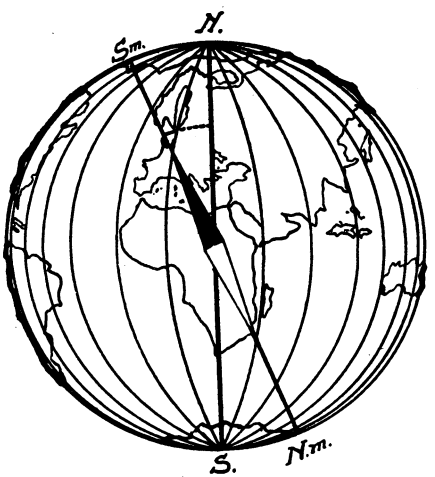
Una brújula no es más que una aguja imantada que descansa sobre un pivote, alrededor del cual puede girar libremente en un plano horizontal.

Para que no quepa confusión, se pinta de azul la punta que mira al norte.

El pivote suele ocupar el centro de un círculo graduado en el que están trazadas dos rectas perpendiculares, marcadas en sus extremos con las iniciales de los cuatro puntos cardinales: N, S, E, O, y las líneas intermedias, que con aquéllas marcan los treinta y dos rumbos que forman la rosa de los vientos.

Declinación magnética. — Realmente la dirección que señala la brújula no coincide, la mayoría de las veces, con la dirección norte-sur geográfica.

Por el contrario, ambas direcciones forman un pequeño ángulo que varía de unos puntos a otros. *El ángulo que en cada punto de la superficie terrestre forma la dirección norte-sur geográfica con la dirección señalada por la brújula, recibe el nombre de declinación magnética del lugar.*



Ejercicios

Tómese un imán y compruébese que atrae al hierro y otros cuerpos magnéticos.

Introdúzcase el imán en limaduras de hierro y obsérvese la existencia de los polos y de la zona neutra.

Suspéndase una barra imantada de su punto medio y obsérvese que se orienta en la dirección norte-sur de la tierra. ¿A qué se debe este fenómeno?

Acérquese al imán de la experiencia anterior otro imán y compruébese cómo se atraen los polos de diferente nombre y se atraen los de nombre contrario.

Colóquese sobre un imán una cartulina y espolvoréense sobre ella limaduras de hierro. Obsérvese la formación de un espectro magnético y la materialización de las líneas de fuerza del campo del imán.

Fórmese un imán artificial frotando con un imán permanente una aguja de acero. Obsérvese que cada vez que rompamos en dos esta aguja, cada uno de los trozos se habrá convertido en un imán completo. ¿A qué se debe este fenómeno?

Explíquese la constitución de los imanes.

Tómese en las manos una brújula y descríbase.

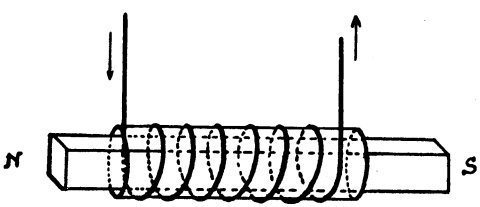
¿Qué es la rosa de los vientos?

24. Magnetismo inducido

Imantación por las corrientes. — Cuando estudiamos la corriente eléctrica y enumeramos sus efectos, nos referimos al efecto magnético que ejerce una corriente sobre una aguja imantada colocada en su vecindad.

La desviación de la aguja imantada por la acción de una corriente eléctrica, indica claramente que ésta crea a su alrededor un campo magnético.

Del mismo modo que una barrita de hierro queda imantada cuando se pone en contacto con un polo de un imán, puede quedar imantada bajo la acción de un campo magnético creado por una corriente eléctrica.



Barra imantada por una corriente eléctrica.

Coloquemos dentro de un tubo de vidrio una barra de acero y alrededor del tubo arrollemos en hélice un hilo conductor. Haciendo pasar por éste una corriente eléctrica, la barra adquiere las propiedades de un imán ordinario. Si el arrollamiento del hilo se hace de izquierda a derecha por arriba, el polo norte del imán aparece en el extremo de la barra por el que sale la corriente. Si el arrollamiento se hace en sentido contrario, el polo norte se encuentra en el extremo por donde entra la corriente.

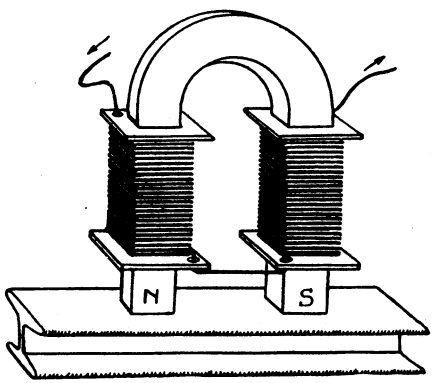
Esta experiencia demuestra que podemos imantar una barra de acero con

auxilio de las corrientes eléctricas, sin necesidad de acudir a otro imán. *De hecho, los imanes permanentes se fabrican de esta forma, pues este procedimiento permite obtenerlos más poderosos que por frotamiento con otros imanes.*

Electroimanes. — Si la experiencia citada anteriormente se realiza con una barra de hierro dulce en lugar de acero, se observa que la imantación se manifiesta instantáneamente, pero dura solamente el tiempo que dura la corriente.

De esta manera pueden obtenerse imanes temporales introduciendo una barra de hierro dulce en el interior de una bobina hecha con hilo conductor arrollado en hélice.

Reciben el nombre de electroimanes los imanes temporales formados bajo la acción de una corriente eléctrica. La barra de hierro dulce empleada recibe el nombre de núcleo del electroimán.



Un electroimán está formado por un núcleo de hierro dulce, generalmente doblado en forma de U, a cuyas ramas se arrollan dos bobinas de hilo conductor, de forma que ambos arrollamientos estén hechos en sentidos opuestos.

Ordinariamente los electroimanes se construyen dando al núcleo forma de U, para que puedan usarse ambos polos simultáneamente. Sus ramas se envuelven en dos bobinas de hilo conductor, formadas por un gran número de espiras, cuyos arrollamientos se hacen en sentidos opuestos para que en los extremos del núcleo aparezcan polos de distinto nombre.

Otras veces los electroimanes son simples barras rectas colocadas en el interior de una bobina de hilo conductor.

Para determinar la *fuerza tractora* de un electroimán se aplica a sus polos una pieza de hierro dulce, llamada *armadura,* de la cual se suspende un platillo, en el cual se van agregando pesos hasta conseguir que se desprenda. El valor de la fuerza tractora de un electroimán es el de la fuerza que ha de apli-

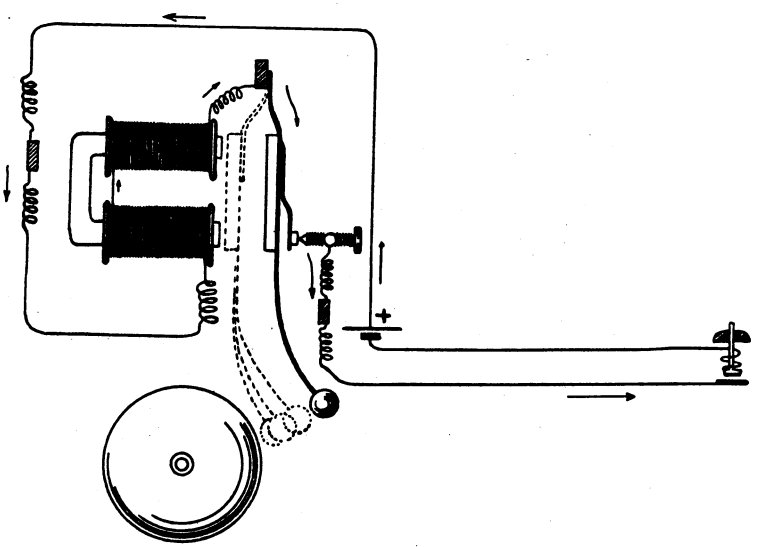
carse a su armadura para separarla de sus polos. La fuerza tractora de un electroimán depende de las características de las bobinas que envuelven sus ramas y de las de la corriente eléctrica que las atraviesa.

Los electroimanes tienen numerosas aplicaciones, por poderse construir de una gran potencia y por adquirir y perder instantáneamente su estado magnético.

Para extraer del fondo de las aguas restos de barcos o chatarra de hierro, se sumerge mediante una grúa un potente electroimán. Cuando descansa sobre el fondo donde se encuentran los trozos de hierro que se quieren extraer, se hace pasar la corriente y se extrae el electroimán, que saca adheridos trozos de hierro de gran peso. Una vez fuera se interrumpe la corriente y éstos se desprenden.

Las dos aplicaciones más importantes y frecuentes son el timbre eléctrico y el telégrafo eléctrico.

Timbre eléctrico. — Consta de una placa de madera a la cual se encuentra fijado un electroimán cuyo hilo tiene uno de sus extremos unido a un borne y el otro está unido a una plaquita elástica que sostiene una barrita de hierro dulce que sirve de armadura al electroimán. Esta armadura tiene soldado a su extremo libre un martillo, y en posición de reposo se apoya sobre un contacto en comunicación con el otro borne del timbre.



El timbre eléctrico es una aplicación importante del electroimán. En este esquema puede verse fácilmente su funcionamiento.

El aparato se intercala en el circuito de una pila, que está interrumpido en un punto por un pulsador, mediante el cual podemos cerrar o abrir el circuito a voluntad.

Cuando se cierra el circuito apretando el pulsador, la corriente llega al electroimán, que atrae a la armadura, y el martillo golpea la campana. En el momento de ser atraída la armadura se interrumpe el contacto entre ella y la pieza metálica sobre la que se apoyaba en estado de reposo, con lo que el circuito queda abierto y la corriente se interrumpe. Entonces el electroimán deja de atraer a la armadura y ésta vuelve a su posición primitiva, cerrándose el circuito y repitiéndose rápidamente los mismos fenómenos. De esta manera la campana recibe una serie de golpes mientras se mantiene oprimido el pulsador, dejando de sonar cuando lo abandonamos.

Telégrafo eléctrico. — Otra aplicación de gran importancia del electroimán es el telégrafo eléctrico. Desde muy antiguo se quiso usar la corriente eléctrica para transmitir señales a distancia; pero esto no se consiguió verdaderamente hasta que Morse logró instalar por primera vez el telégrafo eléctrico que lleva su nombre.

Las piezas esenciales de este telégrafo son el manipulador y el receptor.

El manipulador Morse consiste en una palanca que puede girar alrededor de un eje, que está en comunicación con un hilo conductor que viene de la otra estación. Un muelle hace que esta palanca se apoye de ordinario sobre un extremo. Cuando apretando el manipulador vencemos la fuerza del muelle, se establece contacto con un tope que está en comunicación con el polo positivo de una pila, cuya corriente en ese momento pasa a la línea a través del eje de giro de la palanca y llega a la estación con que se quiere comunicar. De esta manera se puede mandar corriente a la estación receptora sin más que apretar el manipulador Morse de la emisora.

El receptor consiste esencialmente en un electroimán cuya armadura va unida a un estilete que, cada vez que la armadura es atraída por el electroimán, se apoya sobre una cinta de papel, la cual se mueve de un modo continuo mediante un mecanismo de relojería. Este estilete deja sobre el papel en movimiento una línea o un punto, según lo que dura la atracción del electroimán, es decir, el paso de la corriente.

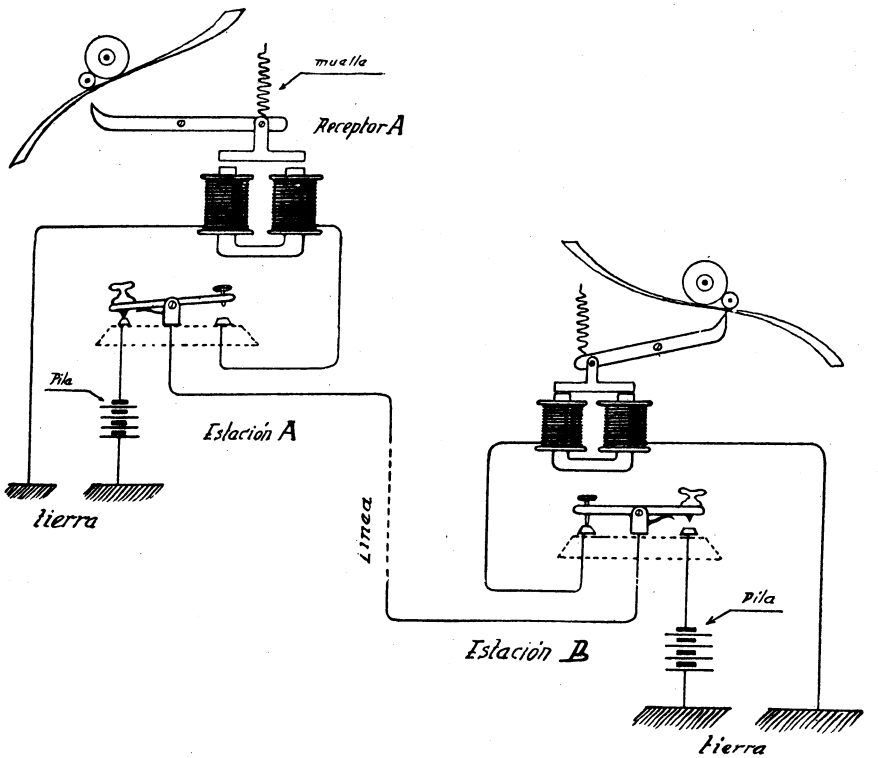
Se comprende fácilmente que cerrando y abriendo en la estación emisora el circuito mediante el manipulador, se harán llegar a la estación receptora corrientes de una duración mayor o menor, que se traducirán en rayas y puntos sobre la cinta de papel. Estas rayas y puntos, mediante un alfabeto convencional, llamado alfabeto Morse, permite la transmisión y recepción de despachos.

Naturalmente, en cada estación hay un aparato receptor y un manipulador y entre cada dos estaciones una sóla línea, que se aprovecha para la emisión y para la recepción.

Tampoco es necesario un segundo hilo conductor para la vuelta de la electricidad a la estación de origen, pues ello se evita clavando en el suelo

de la estación emisora un hilo en comunicación con el polo negativo de la pila, y en la receptora, el hilo conductor a la salida del electroimán.

Además, existen en cada estación otra serie de aparatos auxiliares, como timbres de aviso, etc.



El telégrafo Morse es otra aplicación importantísima del electroimán. En este esquema puede verse cómo funcionan dos estaciones emisoras-receptoras.

Ejercicios

Tómese en la mano un timbre eléctrico y descríbase. Obsérvese de cerca y descríbase su funcionamiento.

¿En qué consiste un electroimán y cuáles son sus aplicaciones más importantes?

¿En qué consiste y cómo funciona el telégrafo Morse?

TABLA DE PESOS ATÓMICOS DE LOS ELEMENTOS

Oxígeno. — 16.0000

ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO	ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO
Aluminio	Al	26,97	Iterbio	Yb	173,04
Antimonio	Sb	121,76	Lantano	La	138,92
Argón	Ar	39,944	Litio	Li	6,940
Arsénico	As	74,93	Lutecio	Lu	175,0
Azufre	S	32,06	Magnesio	Mg	24,32
Bario	Ba	137,36	Manganeso	Mn	54,93
Berilio	Be	9,02	Mercurio	Hg	200,61
Bismuto	Bi	209,00	Molibdeno	Mo	95,95
Boro	B	10,82	Neodimio	Nd	144,27
Bromo	Br	79,916	Neón	Ne	20,183
Cadmio	Cd	112,41	Níquel	Ni	58,69
Calcio	Ca	40,08	Niobio	Nb	93,3
Carbono	C	12,010	Nitrógeno	N	14,008
Casiopeo	Cp	175	Nitón	Nt	222
Cerio	Ce	140,13	Oro	Au	197,2
Cesio	Cs	132,91	Osmio	Os	190,8
Cinc	Zn	65,38	Paladio	Pd	106,7
Circonio	Zr	91,22	Plata	Ag	107,880
Cloro	Cl	35,457	Plomo	Pt	195,23
Cobre	Co	58,94	Platino	Pb	207,22
Cobalto	Cu	63,57	Potasio	K	39,096
Criptón	Kr	83,7	Praseodimio	Pr	140,92
Cromo	Cr	52,01	Radio	Ra	226,05
Dysprosio	Dy	162,46	Rodio	Rh	102,91
Estroncio	Sr	87,63	Renio	Re	186,31
Erbio	Er	167,2	Rubidio	Rb	85,48
Escandio	Sc	45,10	Rutenio	Ru	101,7
Estaño	Sn	118,70	Samario	Sa	150,43
Europio	Eu	152,0	Selenio	Se	78,962
Flúor	F	19,00	Silicio	Si	28,06
Fósforo	P	30,98	Sodio	Na	22,997
Gadolinio	Gd	157,3	Tántalo	Ta	180,88
Galio	Ga	69,72	Teluro	Te	127,61
Germanio	Ge	72,60	Terbio	Tb	159,2
Hafnio	Hf	178,6	Talio	Tl	204,39
Helio	He	4,003	Torio	Th	232,12
Hidrógeno	H	1,008	Tulio	Tu	169,4
Hierro	Fe	55,84	Titano	Ti	47,90
Holmio	Ho	164,94	Urano	U	238,07
Indio	In	114,8	Vanadio	V	50,95
Iodo	I	126,92	Wolframio	W	183,92
Iridio	Ir	193,1	Xenón	Xe	131,3
Itrio	Y	88,92			

INDICE

		Página
1.	La materia y sus estados físicos	3
2.	Fenómenos. Constitución de la materia	9
3.	Las magnitudes físicas y su medida	14
4.	Calor. Dilataciones	19
5.	Termometría	23
6.	Cambios de estado	28
7.	Propagación del calor	34
8.	Los líquidos en equilibrio. Presión	39
9.	Los líquidos en equilibrio. Principio de Pascal	44
10.	Cuerpos sumergidos y flotantes. Principio de Arquímedes	49
11.	El agua	54
12.	El aire. Presión atmosférica	59
13.	El oxígeno. La combustión	65
14.	La luz y su propagación	70
15.	Reflexión de la luz	74
16.	Refracción de la luz. Lupa y proyector	80
17.	El carbono y los carbones	87
18.	La caliza, la cal y el yeso. Materiales de construcción	92
19.	El azufre y el fósforo	98
20.	Electrostática	103
21.	La corriente eléctrica	109
22.	Efectos de la corriente eléctrica	115
23.	Magnetismo	121
24	Magnetismo inducido	127

OBRAS BASICAS DE FORMACION CULTURAL